

KONSEP RUMAH MANDIRI ENERGI MENGGUNAKAN TENAGA SURYA DAN BIOGAS

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro

Oleh :

DEVI NURYADI
10655004523



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2011**

KONSEP RUMAH MANDIRI ENERGI MENGGUNAKAN TENAGA SURYA DAN BIOGAS

DEVI NURYADI
NIM : 10655004523

Tanggal Sidang : 23 Juni 2011

Perioda Wisuda : Juli 2011

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Krisis energi di Indonesia adalah masalah fundamental. Diperlukan strategi untuk mengatasi persoalan suplai listrik sambil memelihara kelestarian fungsi lingkungan hidup. Tugas Akhir ini menawarkan konsep rumah mandiri energi yang menyediakan energi listrik dan gas secara mandiri dengan memanfaatkan energi surya dan biogas. Lokasi penelitian adalah di Desa Kuala Lala, Kec. Sungai Lala, Kab. Indragiri Hulu yang belum terjangkau jaringan listrik PLN. Perancangan sistem PLTS menggunakan standar Australia AS 4509.2—2002 tentang *Stand Alone Power Systems* Bagian 2: *System Design and Guidelines* sedangkan intensitas cahaya matahari diperoleh dari database SMSE-NASA. Dengan intensitas radiasi matahari 4,2 kWh/m²/hari, konsumsi energi per hari 2463 Wh, dan beban puncak 362 Watt, sistem PLTS yang optimal terdiri dari inverter 900 VA, 6 baterai 102 Ah, 10 modul surya 210 Wp, dan BCR 40 A. Perancangan biogas digester dengan mempertimbangkan lama memasak selama 2,44 jam per hari dan jumlah sapi minimal 2 ekor per kepala keluarga. Sistem biogas digester yang disarankan adalah berukuran 4 m³ digester biogas dan 2 m³ digester kontrol. Dengan kapasitas 9 Kg kotoran padat ternak dapat menghasilkan gas metan sebanyak 2,16 m³ per hari atau setara dengan 1,2 liter minyak tanah. Biaya yang dibutuhkan sistem PLTS selama umur investasi 20 tahun Rp. 113.599.000 dan biaya yang dibutuhkan sistem biogas digester selama umur invesatasi 20 tahun Rp. 8.740.180.

Kata kunci : AS 4509.2—2002, Biogas digester, Desa Kuala Lala, PLTS, dan Rumah mandiri energi

KONSEP RUMAH MANDIRI ENERGI MENGGUNAKAN TENAGA SURYA DAN BIOGAS

DEVI NURYADI
NIM : 10655004523

Date of Final Exaam: June 23th, 2011
Graduation Ceremony Period : Juli , 2011

Electrical Engineering Departement
Faculty of sains and techonology
State Islamic University Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas Street No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

The energy crisis experienced by Indonesia is a fundamental problem. Strategies are needed to overcome the problem of electricity supply in rural areas while maintaining the sustainability of the environment. This thesis offers a concept of energy independent home that provides electricity and gas independently by utilizing solar and biogas energies. The research took place in the village of Kuala Lala, District of Sungai Lala , Regency of Indragiri Hulu is not reached by the utility grid. A photovoltaic (PV) system has been considered for electricity generation and a biogas digester was used to meet the medium-sized house gas demand in the village of Kuala Lala. The PV system was designed using the Australian standard AS 4509.2-2002 on Stand Alone Power Systems Part 2: System Design and Guidelines with the solar insolation was obtained from the SMSE-NASA database. With 4.2 kWh/m²/day radiation, daily energy consumption of 2463 Wh per day, and 362 Watt peak loads, the optimal PV system consists of a 900 VA inverter, six 102 Ah batteries, ten 210 Wp solar module, and a 40 A BCR. Design of biogas digester considered the daily cooking time of 2.44 hours and the number of cows at least 2 per household resulting a 4 m³ biogas digester and 2 m³ digester control. The digester could produce arround 2.16 m³ methan wich is equivalent to 1.2 liters of kerosene per day. The cost of PV system over 20 years life time was estimated at Rp. 113.598.500 and the cost of biogas digester systems would be Rp. 8.740.180 for the same period of life time.

Keywords : AS 4509.2—2002, Biogas digester, PLTS, Solar home system, and Village of Kuala Lala

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR KEKAYAAN ATAS INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	I-1
1.2 Rumusan masalah.....	I-9
1.3 Batasan masalah	I-9
1.4 Tujuan penelitian.....	I-9
1.5 Manfaat penelitian.....	I-10

1.6	Sistematika penulisan.....	I-10
BAB II	LANDASAN TEORI	
2.1	Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)	II-1
2.2	Biogas digester	II-4
2.3	Analisa ekonomi.....	II-13
BAB III	METODE PENELITIAN	
3.1	Pendahuluan	III-1
3.2	Perancangan Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).....	III-1
3.2.1	Menentukan intensitas cahaya matahari	III-1
3.2.2	Studi beban.....	III-2
3.2.3	Perancangan sistem PLTS.....	III-2
3.2.4	Menentukan biaya sistem PLTS.....	III-3
3.3	Perancangan biogas digester	III-3
3.3.1	Studi beban dan perancangan biogas digester.....	III-3
3.3.2	Menentukan biaya sistem biogas digester.....	III-3
3.4	Analisa ekonomi.....	III-4
BAB IV	PERANCANGAN SISTEM DAN ANALISA	
4.1	Pendahuluan	IV-1
4.2	Perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).....	IV-1
4.2.1	Menentukan intensitas cahaya matahari.....	IV-2
4.2.2	Studi beban listrik	IV-4

4.2.3	Perancangan sistem PLTS.....	IV-9
4.2.4	Biaya sistem PLTS.....	IV-27
4.3	Perancangan biogas digester	IV-33
4.3.1	Studi beban.....	IV-33
4.3.2	Perancangan biogas digester	IV-34
4.3.3	Biaya sistem biogas digester	IV-39
4.4	Analisa ekonomi.....	IV-44
4.4.1	Analisa ekonomi sistem PLTS	IV-44
4.4.2	Analisa ekonomi sistem biogas digester	IV-49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	V-1
5.1.1	Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)	V-1
5.1.2	Biogas digester	V-2
5.2	Saran.....	V-2
5.2.1	Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)	V-2
5.2.2	Biogas digester	V-3

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Data beban listrik rata-rata rumah tangga	IV-6
4.2 Data beban listrik rata-rata rumah tangga (<i>recommended</i>)	IV-8
4.3 Data spesifikasi inverter	IV-14
4.4 Data spesifikasi baterai	IV-18
4.5 Data spesifikasi modul surya	IV-21
4.6 Data spesifikasi BCR	IV-25
4.7 Ringkasan spesifikasi komponen PLTS	IV-26
4.8 Daftar harga komponen-komponen PLTS	IV-28
4.9 Biaya instalasi listrik	IV-29
4.10 Total biaya investasi awal	IV-29
4.11 Total biaya penggantian komponen PLTS	IV-32
4.12 Total biaya sistem PLTS selama umur investasi	IV-32
4.13 Data lamanya memasak per KK Desa Kuala Lala	IV-33
4.14 Daftar harga material biogas digester	IV-40
4.15 Total biaya investasi awal	IV-41
4.16 Total biaya perbaikan	IV-43
4.17 Total biaya biogas digester selama umur investasi	IV-43
4.18 Total biaya listrik PLN selama 20 tahun	IV-46

- 4.19 Total biaya penggunaan gas elpiji selama umur investasi IV-52
- 4.20 Total biaya minyak tanah untuk memasak selama umur investasi IV-54

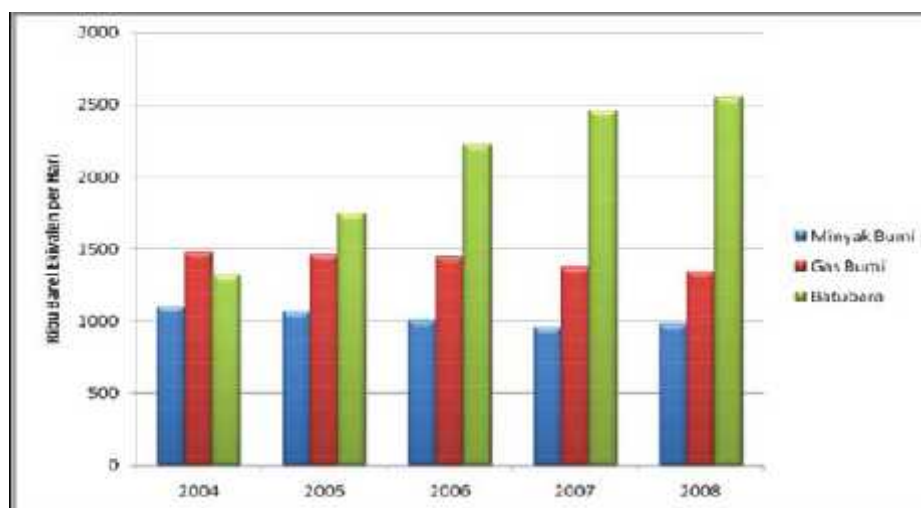
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi yang terjadi pada saat ini, khususnya di Indonesia, merupakan masalah yang fundamental. Hal ini dapat dilihat dari menurunnya produksi beberapa bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam. Seperti yang diketahui bahwa bahan bakar fosil digunakan secara luas dalam kehidupan manusia mulai dari sektor transportasi, industri, perumahan, pertanian, kehutanan, bisnis, pemerintah, perikanan, dan lain-lain.

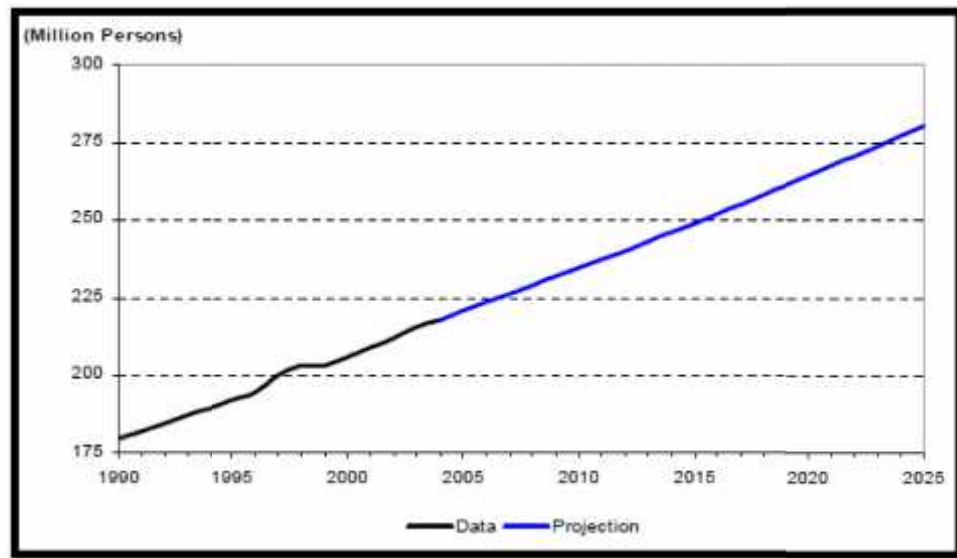
Gambar 1.1 memperlihatkan produksi bahan bakar fosil di Indonesia dari tahun 2004 hingga 2008. Produksi minyak bumi dan gas alam mengalami penurunan kecuali produksi batu bara yang mengalami peningkatan. Karena bahan bakar fosil tergolong ke dalam energi tak terbarukan maka cepat atau lambat energi ini akan habis.



Gambar 1.1 Produksi energi fosil 2004-2008

(Sumber: www.menlh.go.id/slhi/slhi2008/7_energi.pdf)

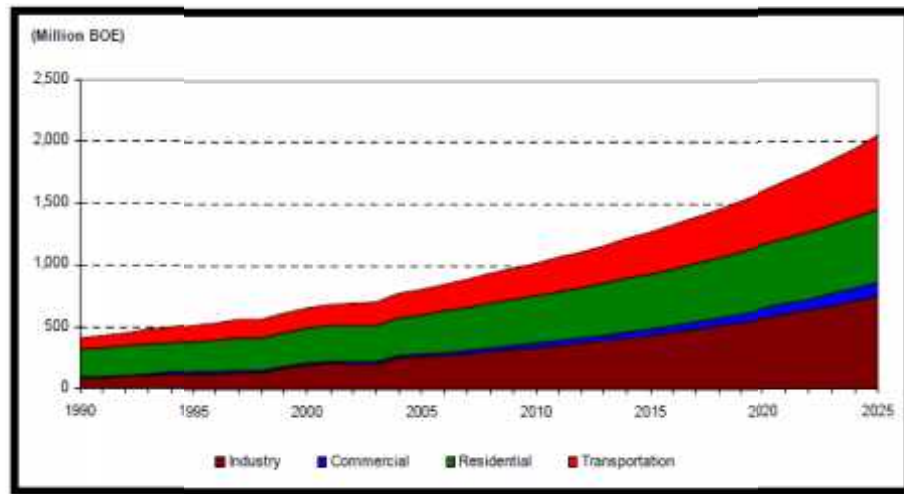
Meningkatnya populasi manusia merupakan salah satu penyebab terjadinya krisis energi. Semakin banyak populasi manusia maka semakin tinggi permintaan akan energi. Gambar 2 memperlihatkan populasi penduduk Indonesia pada tahun 2005 meningkat menjadi 220.923.000 jiwa. Data yang di perlihatkan menunjukan peningkatan yang signifikan dan peningkatan ini diproyeksikan terus bertambah hingga 2025 menjadi 280.447.000 jiwa.



Gambar 1.2 Populasi penduduk Indonesia

(Sumber: PEUI, 2006)

Peningkatan populasi manusia akan diikuti dengan peningkatan pada sektor industri, perumahan, transportasi, dan lain-lain. Gambar 3 memperlihatkan pemakaian total energi pada beberapa sektor yang terus meningkat hingga tahun 2025.



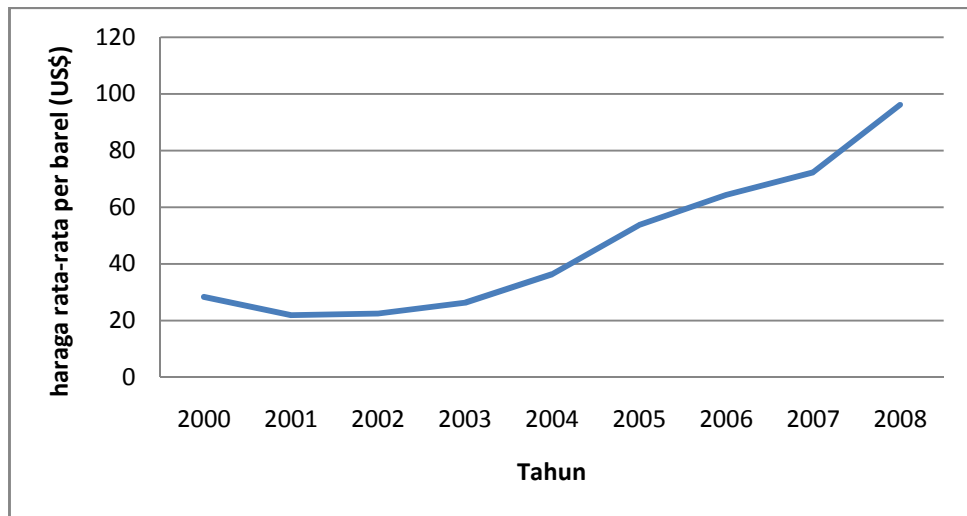
Gambar 1.3 *Total energy consumption by sector (including biomass)*

(Sumber: PEUI, 2006)

Kegunaan bahan bakar fosil sangat membantu di segala kegiatan manusia tetapi dengan melihat lajunya pertumbuhan manusia dan meningkatnya konsumsi energi dari bahan bakar fosil secara langsung manusia akan menghadapi krisis energi. Disadari penggunaan bahan bakar fosil akan berdampak buruk bagi kehidupan manusia, antara lain :

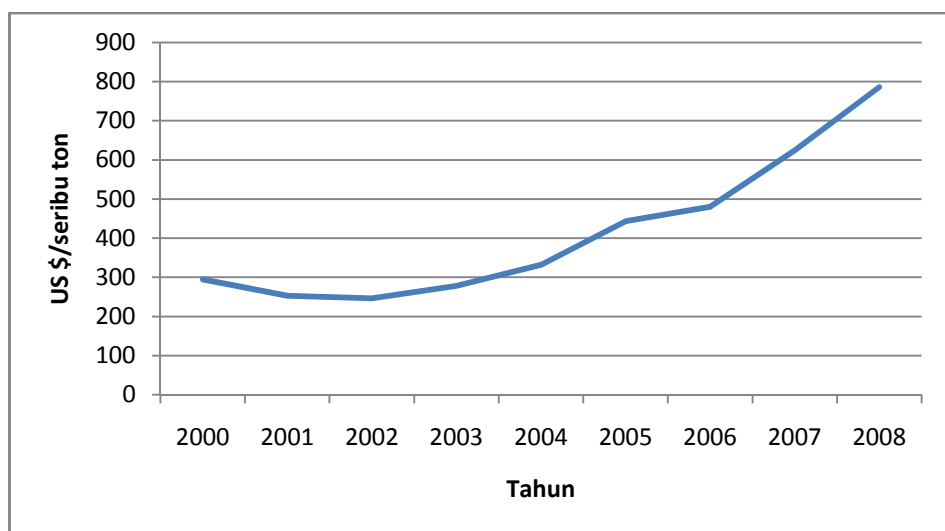
1. Ekonomi

Dengan menurunnya produksi bahan bakar fosil akan berdampak pada kenaikan harga rata-rata minyak mentah di Indonesia pada tahun 2000 hingga 2008 yang mencapai 96.13 US\$ per barel.

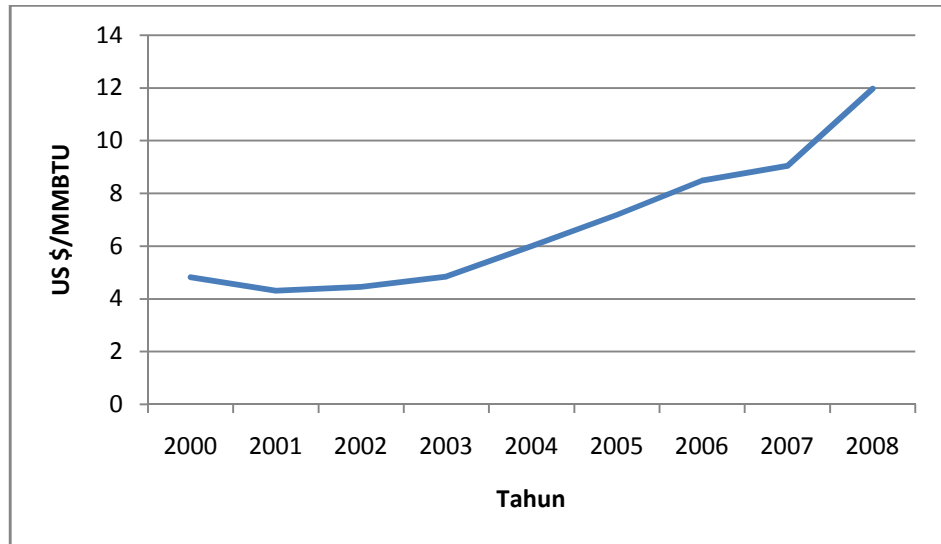


Gambar 1.4 Harga rata-rata minyak mentah 2000-2008
(Sumber: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)

Seperti harga rata-rata minyak mentah, harga rata-rata LPG (*liquified petroleum gas*) naik hingga 785,94 US\$/seribu ton, LNG (*liquified natural gas*) naik hingga 11,97 US\$/MMBTU, dan batu bara naik hingga 65,51 US\$/ton.

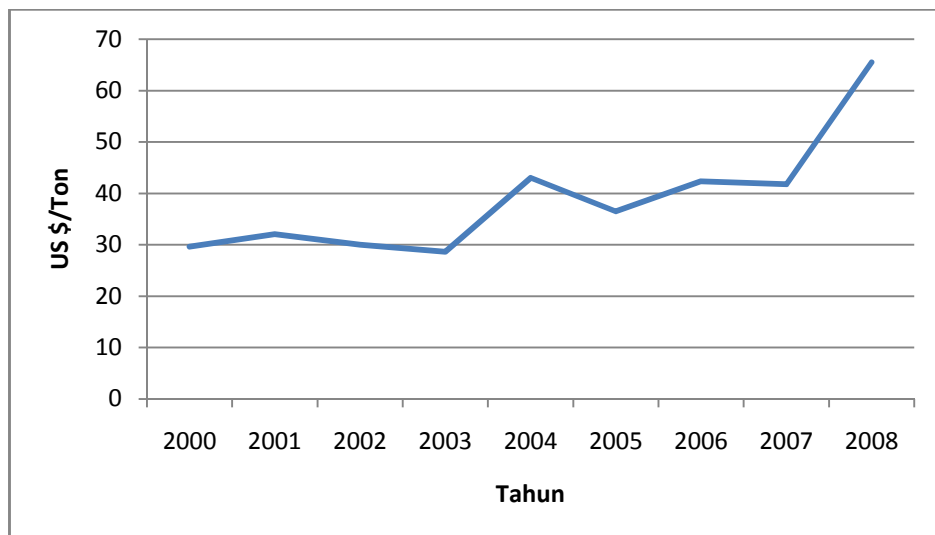


Gambar 1.5 Harga rata-rata LPG 2000-2008
(Sumber: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)



Gambar 1.6 Harga rata-rata LNG 2000-2008

(Sumber: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)



Gambar 1.7 Harga rata-rata batu bara 2000-2008

(Sumber: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)

2. Lingkungan

Penggunaan bahan bakar fosil dapat mengakibatkan pencemaran udara dan ini akan mempengaruhi kesehatan manusia mulai dari gangguan pernafasan, peredaran darah, iritasi, dan terganggunya sistem syaraf pusat (Departemen kesehatan n.d.). Penggunaan bahan bakar fosil juga berpengaruh pada perubahan iklim mulai dari pemanasan global yang menyebabkan suhu permukaan bumi meningkat hingga terjadinya hujan asam (Rakhmawan n.d.).

3. Politik dan keamanan

Kebutuhan akan energi fosil yang terus meningkat ditandai dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk akan berdampak langsung terhadap politik dan keamanan. Untuk memenuhi konsumsi energi, manusia saling bersaing untuk mendapatkannya yang mengakibatkan sebuah konflik politik dan akan berujung pada peperangan antar saudara.

Untuk menyiasati krisis bahan bakar fosil, manusia mulai memikirkan energi lain yaitu dengan menggunakan energi nuklir. Tetapi pada dasarnya bahan baku pembuatan nuklir (Uranium) merupakan bahan tambang maka energi nuklir tergolong kedalam energi tak terbarukan.

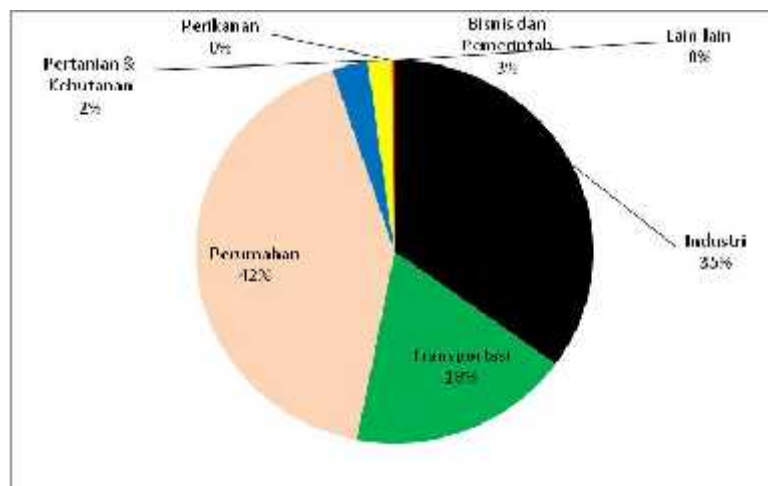
Selain itu energi nuklir mempunyai dampak yang sangat buruk bagi kehidupan apa bila terjadi kebocoran pada reaktor nuklir. Kebocoran reaktor nuklir akan berdampak panjang bagi kesehatan manusia mulai dari kerusakan sel-sel, terjadinya kanker dan tumor, dan mengakibatkan bayi-bayi yang lahir menjadi cacat secara fisik atau kelainan genetik. (Forumkimia, n.d.)

Apalagi kalau PLTN dibangun di Indonesia dengan geografis wilayah yang dikelilingi gunung berapi dan berada di dua lempeng dunia, Indonesia sangat rentan dengan gempa bumi yang beresiko besar terjadinya kebocoran reaktor nuklir. Jadi PLTN bukan solusi untuk menyelesaikan krisis energi di Indonesia (*Greenpeace Asia tenggara*, 2010).

Dengan permasalahan yang muncul dari penggunaan bahan bakar fosil hingga nuklir maka diperlukan suatu energi baru untuk menjawab semua permasalahan tersebut. Energi baru yang dimaksud adalah energi terbarukan yang di harapkan bisa menggantikan sebagian fungsi bahan bakar fosil dan nuklir seperti energi angin, matahari, geothermal, laut, pasang-surut, air, dan biomassa, dan sebagainya.

Hingga saat ini, penerapan energi terbarukan di Indonesia sangat dominan pada daerah pedesaan. Namun, terjadinya krisis energi secara menyeluruh mau tidak mau “memaksa” manusia memikirkan sumber energi lain untuk memenuhi kebutuhan energi di kota-kota. Program *solar cities* mulai digagas di berbagai negara dalam rangka memanfaatkan energi terbarukan (khususnya energi surya) untuk membantu mengatasi krisis energi di perkotaan.

Sebagaimana ditunjukkan Gambar 5, sektor perumahan merupakan konsumen energi terbesar di Indonesia yaitu 42%. Oleh sebab itu salah satu strategi yang dapat ditempuh untuk mengatasi persoalan krisis energi adalah ‘membenahi’ suplai energi pada perumahan.



Gambar 1.8 Total pemakaian energi bahan bakar fosil di Indonesia

(Sumber: IEA, 2010)

Pada skripsi ini ditawarkan sebuah konsep rumah mandiri energi yang menyediakan suplai energi seperti listrik, gas untuk memasak, bahan bakar kendaraan dan lain-lain secara mandiri dengan memanfaatkan sumber energi dari alam.

Keunggulan konsep ini adalah bahwa sebuah rumah mandiri energi tidak menggunakan bahan bakar fosil (baik secara langsung maupun tidak langsung), sehingga diharapkan lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan suplai terjamin.

Rumah mandiri energi yang akan didesain pada tugas akhir ini menggabungkan tenaga surya dan biogas sebagai sumber energi. Dalam konsep ini tenaga surya digunakan untuk menyediakan kebutuhan energi listrik sedangkan biogas sebagai pengganti kebutuhan gas untuk memasak. Sesuatu yang menarik bahwa rumah mandiri energi yang menggabungkan teknologi PLTS dan biogas digester belum ada di Indonesia khususnya di daerah pedesaan.

Untuk menunjang dalam pembuatan skripsi ini penulis mengambil sebuah sampel pada salah satu desa yang ada di Riau yaitu Desa Kuala Lala Kec. Sei Lala-INHU. Di desa ini semua penduduk belum mendapatkan pasokan listrik dari pemerintah. Sebagian dari penduduk menggunakan lampu minyak tanah dan sebagian menggunakan diesel untuk penerangan rumah mereka. Sedangkan untuk memasak penduduk masih banyak menggunakan kayu bakar dan minyak tanah.

Dari data yang diperoleh jumlah Kepala Keluarga (KK) adalah 165 KK dan mata pencarian penduduk Desa Kuala Lala masih mengandalkan pertanian, peternakan, penambangan emas, dan nelayan. Desa ini berada sekitar 5 km dari pasokan listrik yang berasal dari pemerintah.

Dengan melihat kondisi dari desa maka rumah mandiri energi menggunakan tenaga surya dan biogas sangat cocok untuk diterapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ingin diatasi melalui tugas akhir ini adalah bagaimana merancang rumah mandiri energi menggunakan tenaga surya dan biogas untuk memenuhi kebutuhan listrik dan gas, bagaimana perbandingan biaya PLTS dengan PLN selama umur investasi (20 tahun) dan bagaimana perbandingan biaya biogas digester dengan gas epiji dan minyak tanah PERTAMINA selama umur investasi (20 tahun).

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak meluasnya pembahasan pada tugas akhir ini, penulis menentukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak mempertimbangkan intensitas cahaya matahari pada permukaan bumi di Indonesia menurut jam per hari dan menurut hari per tahun.
2. Pembahasan meliputi kebutuhan energi listrik dan gas, tidak mencakup energi lain seperti BBM kendaraan.
3. Tidak mengkalkulasikan apabila ada penambahan beban pada sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).
4. Tidak membuat alat.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menemukan desain system PLTS dan biogas digester untuk rumah tangga ukuran sedang, dengan mempertimbangkan faktor-faktor penting yang mempengaruhi.
2. Menemukan biaya yang diperlukan untuk menyediakan suplai listrik rumah tangga 24 jam menggunakan sistem PLTS dan membandingkannya dengan biaya sambungan listrik PLN.

3. Menemukan biaya yang diperlukan untuk menyediakan suplai gas rumah tangga menggunakan biogas dan membandingkannya dengan biaya gas Pertamina dan minyak tanah Pertamina.

1.5 Manfaat penelitian

1. Bagi Mahasiswa.
 - a. Sebagai latihan menyelesaikan suatu permasalahan di bidang teknik elektro khususnya di bidang energi.
 - b. Dapat memperdalam bidang teknik elektro dan juga sebagai penerapan teori yang didapat di bangku kuliah dengan kenyataan
2. Bagi Perguruan Tinggi
 - a. Untuk mengetahui sejauh mana daya serap mahasiswa dalam mengikuti perkuliahan.
 - b. Untuk bahan evaluasi dalam peningkatan mutu perguruan tinggi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TEORI DASAR

Bab ini berisikan tentang dasar teori yang digunakan pada skripsi ini meliputi sistem PLTS, sistem biogas digester, dan teori perhitungan menggunakan prinsip *life-cycle costing*.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini.

BAB IV : PERANCANGAN SISTEM DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan prosedur yang digunakan dalam perancangan dan hasil yang didapat.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

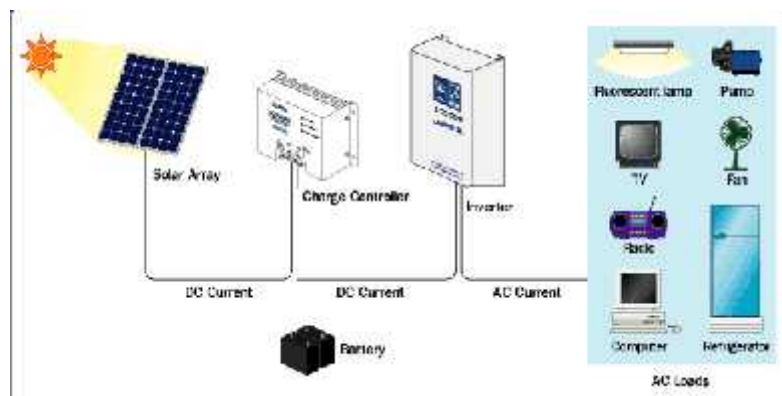
Bab ini berisikan kesimpulan dan temuan-temuan yang dihasilkan dari penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)

PLTS merupakan suatu teknologi yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik. Gambar 2.1 memperlihatkan blok diagram umum dari system PLTS. Karena modul surya terbuat dari bahan semikonduktor tipe n dan p , energi matahari menggerakkan elektron-hole sehingga terjadi arus listrik konstan DC. Dari modul surya tegangan DC dialirkan melalui *battery charge regulator* (BCR) yang berfungsi mengontrol pengisian baterai. Tegangan DC dari BCR dialirkan ke baterai untuk disimpan. Kemudian dari baterai tegangan DC dialirkan ke Inverter untuk diubah menjadi tegangan AC guna memenuhi beban AC atau langsung disuplai ke beban DC.



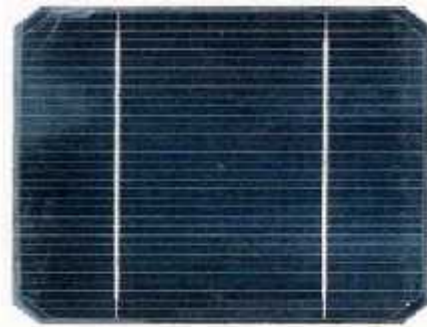
Gambar 2.1 Blok diagram sistem PLTS

(Sumber: http://www.leonics.com/system/solar_photovoltaic/solar_home_system/image/solar_home_system_en.gif)

Sistem PLTS didukung beberapa komponen, antara lain :

a. Sell surya (solar cell)

Sell surya berfungsi sebagai piranti semi konduktor yang merubah secara langsung energi matahari menjadi energi listrik searah (*Direct Current*, DC).



Gambar 2.2 sel surya
(Sumber: Earthscan, 2008)

b. Battery charge regulator (BCR)

BCR berfungsi sebagai pengontrol pengisian/*charge* baterai atau bisa dikatakan sebagai sistem proteksi bagi baterai yang bertujuan untuk menghindari baterai dari kerusakan. Prinsip kerja dari BCR adalah apabila baterai telah terisi penuh oleh muatan listrik, maka BCR akan memutuskan hubungan antara panel surya dengan baterai sehingga pengisian baterai berhenti. Sebaliknya, apabila muatan listrik yang ada pada baterai dibawah kondisi yang ditentukan, maka BCR akan menghubungkan solar panel dengan baterai dan mengisi baterai dengan muatan listrik.



Gambar 2.3 BCR
(Sumber: Earthscan, 2008)

c. Baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan muatan listrik yang berasal dari modul surya yang nantinya digunakan untuk mensuplai peralatan listrik sesuai dengan kebutuhan, atau diubah menjadi listrik AC oleh inverter.



Gambar 2.4 Baterai
(Sumber: Earthscan, 2008)

d. Inverter

Inverter berfungsi sebagai pengubah tegangan DC (*direct current*) ke AC (*Alternative current*). Dalam banyak aplikasi, inverter juga memperbesar tegangan input.



Gambar 2.5 Inverter
(Sumber: Earthscan, 2008)

e. Beban

Beban merupakan implementasi dari sistem PLTS dan jenis beban disesuaikan dengan kebutuhan.

f. Energi matahari

Energi matahari merupakan energi utama untuk mendukung sistem PLTS agar bisa menghasilkan energi listrik.

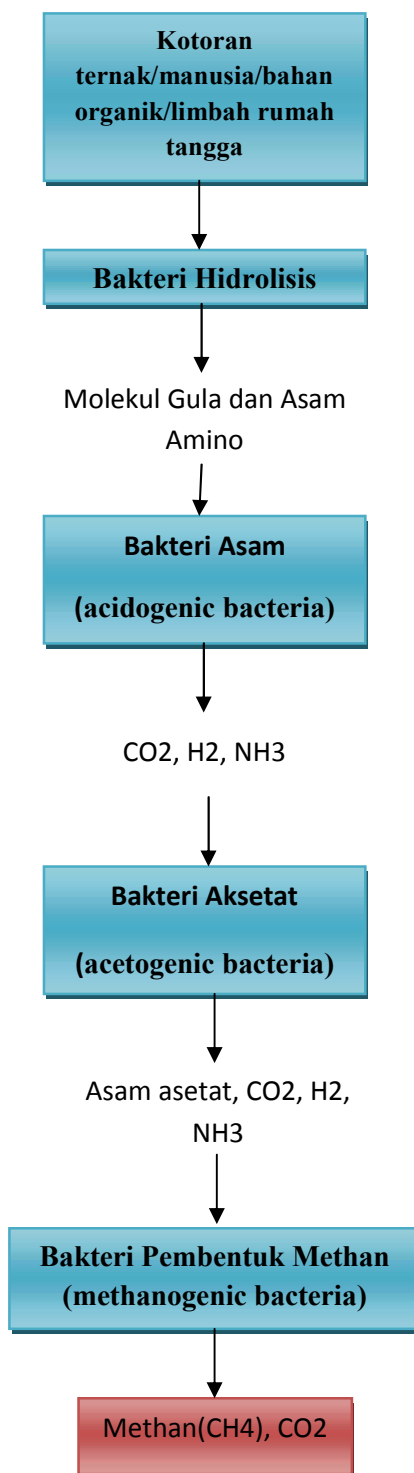
2.2 Biogas Digester

Biogas digester merupakan suatu teknologi yang memanfaatkan bahan-bahan organik, termasuk kotoran manusia dan hewan, limbah rumah tangga, dan sampah-sampah organik secara anaerobik untuk menghasilkan gas methana. Gas methana yang dihasilkan bersifat dapat terbakar (*combustible*) sehingga dapat difungsikan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga seperti memasak dan lain-lain.

Reaksi fermentasi terjadi tanpa kehadiran oksigen sama sekali atau yang disebut dengan reaksi fermentasi anaerobik . Reaksi fermentasi anaerobik terjadi dalam beberapa tahap sesuai dengan jenis mikroba yang terlibat. Berdasarkan cara kerjanya, mikroba yang terlibat dapat dibedakan yaitu bakteri hidrolisis,

bakteri penghasil asetat (*acetogenic bacteria*), bakteri penghasil asam (*acidogenic bacteria*) dan bakteri penghasil metana (*methanogenic bacteria*) (Sttal, n.d).

Pada Gambar 2.6 Pada tahap pertama bakteri hidrolisis akan membongkar molekul kompleks dari polimer organik tak larut semacam karbohidrat dari material bahan baku menjadi molekul yang lebih sederhana dan mudah diuraikan jenis bakteri yang lain. Kemudian *acidogenic bacteria* (bakteri asam) akan merubah molekul gula dan asam amino menjadi karbondioksida (CO_2), hidrogen(H_2), dan amonia (NH_3). Setelah itu *acetogenic bacteria* (bakteri asetat) akan merubahnya menjadi asam asetat, amonia, hidrogen dan karbondioksida. Setelah bahan-bahan di atas terdapat dalam jumlah yang cukup, maka *methanogenic bacteria* (bakteri pembentuk methan) akan bekerja merubah bahan–bahan di atas menjadi gas metana (CH_4) dan Karbon dioksida (CO_2) (Stall, n.d).

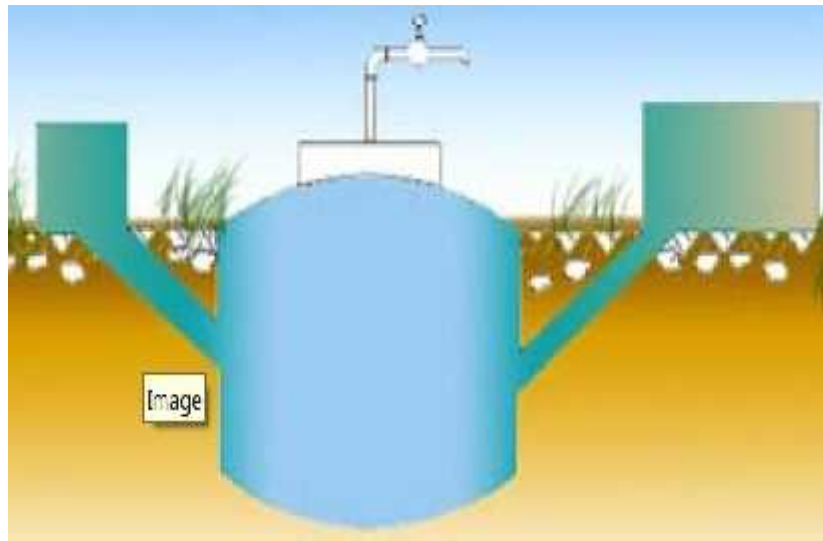


Gambar 2.6 Proses terbentuknya gas methana pada digester

Secara umum terdapat 4 tipe digester biogas, antara lain :

a. Tipe *Fixed Dome*

Digester yang berbentuk seperti tabung dan mempunyai seperti kubah untuk penutup di atasnya serta dibuat dengan konstruksi batu bata. Digester dipasang di bawah tanah dan mempunyai saluran inlet dan outlet (Ginting, 2008).



Gambar 2.7 Digester tipe *Fixed Dome*

(Sumber: PCIRD, 2009)

b. Tipe penutup *Galvanize Steel*

Tipe ini mempunyai tiga per empat bagian yang ditanam di bawah tanah dan terbuat dari batu bata dan sisanya terletak di atas tanah dengan penutup dari baja. Kapasitas digester mulai dari 2 m³ sampai 250 m³ (Ginting, 2008).



Gambar 2.8 Digester dengan penutup dari Baja

(Sumber:

[http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:JHvxlkjoy_Uj8M::&t=1&usg=__Ji8_e5WGlcT3iljOauxz4YJxVBk=\)](http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:JHvxlkjoy_Uj8M::&t=1&usg=__Ji8_e5WGlcT3iljOauxz4YJxVBk=))

c. Tipe *Polyethylene Tube*

Tipe ini merupakan suatu bentuk tabung terbuat dari plastik polietilen dimana plastik ini dilindungi dengan ditempatkan pada suatu galian. Bila plastik tidak ingin diletakkan dalam galian, maka sebagai alternatif dapat dibuatkan perlindungan yang dikonstruksi dari batu bata. Panjang plastik dapat mencapai 7 – 10 m (Ginting, 2008).



Gambar 2.9 Digester tipe *Polyethylene Tube*

(sumber:

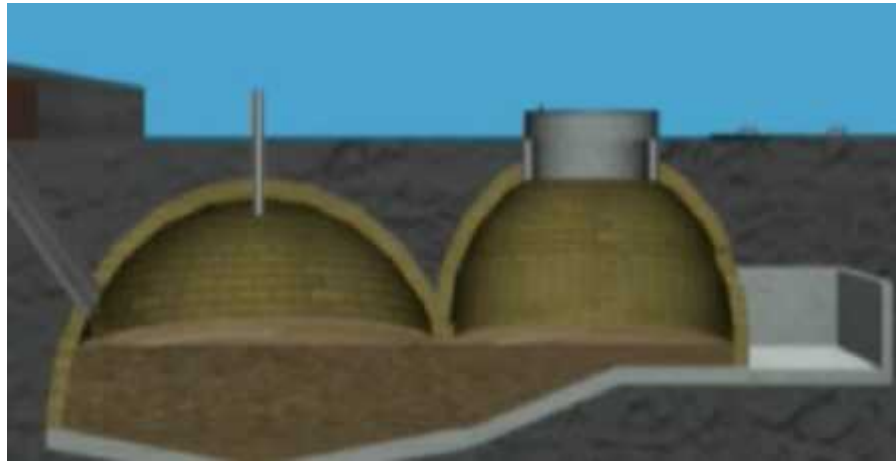
[http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:7766xVkcEukfjM::&t=1&usg=__RgtUEHRGrwtRXdZwqDc_Lldp7tM=\)](http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:7766xVkcEukfjM::&t=1&usg=__RgtUEHRGrwtRXdZwqDc_Lldp7tM=))

d. *Tipe Hybrid Technology*

Tipe ini merupakan suatu bentuk gabungan antara *fixed dome* dan *galvanized steel*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan bagian yang menguntungkan dari kedua tipe tersebut sementara meninggalkan bagian yang tidak menguntungkan. Digester didisain berbentuk *rectangular*, tidak tinggi, terbuat dari semen cor. Tidak dibutuhkan bak untuk mengencerkan substrat, terdapat alat untuk menghancurkan kerak. Ampas secara gravitasi akan terdorong ke bak kedua. Gas yang dihasilkan disalurkan ke beberapa penampung gas plastik sebagai reservoir (Ginting, 2008).

Dalam tugas akhir ini, penulis menggunakan model modifikasi dari tipe *fixed dome* yaitu model 2 *fixed dome* atau *fixed dome* ganda yang saling terhubung, yang mana salah satu fungsi dari tipe *fixed dome* di gunakan

untuk memproduksi gas dan satu lagi digunakan untuk mengontrol kotoran didalam digester.



Gambar 2.10 Digester tipe *fixed dome* ganda
(Sumber : Ginting, 2008)

Dalam pembuatan digester tipe *fixed dome* ganda ada 3 hal yang perlu diperhatikan, diantaranya

- a. Letak kandang ternak
- b. Lahan yang akan dibangun digester
- c. Calon lokasi pengolahan limbah

Lokasi ideal dalam penentuan lokasi dimana akan dibangun digester adalah meletakkan lokasi kandang pada daerah yang paling atas dan lokasi biogas digester berada dilahan yang sedikit lebih rendah dari kandang. Kemudian lokasi pengolahan limbah berada dibagian paling rendah dari lokasi kandang dan biogas digester hal ini dilakukan agar pembuatan dan pengoperasian seluruh kegiatan biogas digester lebih mudah dan ringan.



Gambar 2.11 Penempatan digester

(Sumber : Ginting, 2008)

Secara umum, digester tipe *fixed dome* memiliki berbagai macam ukuran yang sering digunakan yaitu 6m^3 , 9m^3 , 13m^3 , dan 18m^3 .

Pada tugas akhir ini tidak akan berpatokan pada ukuran yang sering digunakan pada umumnya, ini dikarenakan penentuan ukuran digester yang akan dirancang tergantung pada berapa volume (m^3/hari) yang dibutuhkan untuk memasak sehingga selanjutnya baru ditentukan kapasitas biogas digester yang dibutuhkan dan berapa ekor sapi yang diperlukan untuk mengisi digester.

Sistem biogas didukung oleh beberapa komponen, antara lain :

a. Kotoran ternak

Kotoran ternak merupakan bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan gas methana. Sebagai catatan bahwa kotoran ternak bukan satu-satunya bahan baku yang bisa menghasilkan gas methana tetapi masih ada bahan lain seperti yang sudah disebutkan sebelumnya.

b. Digester

Digester berfungsi untuk menampung kotoran ternak dan mengolahnya menjadi gas methana.

c. Pipa dan valve

Pipa berfungsi mengalirkan gas dari digester ke kompor biogas dan valve berfungsi untuk mengontrol/*open-close* aliran gas yang berasal dari digester.

d. Penyimpanan

Gas methana yang dihasilkan dari digester ditampung/disimpan dalam sebuah wadah plastik.



Gambar 2.12 Plastik penyimpanan gas
(Sumber: <http://www.huameienergy.com/Products.asp?id=33&classid=91>)

e. Kompor biogas

Kompor biogas merupakan tempat membakar gas methana yang dihasilkan dari digester.



Gambar 2.13 Kompor biogas

(Sumber: http://2.bp.blogspot.com/_5VRjGGg9XUI/Sf6Tgc2Ed7I/AAAAAAAAADI/SxUeKnTYEI/s400/Copy+of+DSC01342.JPG)

2.3 Life cycle cost (LCC)

Perhitungan biaya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan biogas digester digunakan prinsip *life-cycle costing*. Pada dasarnya LCC akan menghitung total biaya yang dikeluarkan selama umur investasi yang telah ditentukan, mulai dari biaya investasi awal, biaya operasional (*operational cost*), dan biaya perawatan (*maintenance cost*).

a. Biaya investasi awal

Biaya investasi awal adalah biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan diawal-awal pembangunan dalam jumlah yang relatif besar dan berdampak jangka panjang. Salah satu contoh investasi awal adalah biaya keseluruhan bahan baku sistem, biaya pekerja, dan lain-lain (Giatman, 2005)

b. Biaya operasional (*operational cost*)

Biaya operasional (*operational cost*) adalah biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin atau periodik waktu tertentu dalam jumlah yang relatif sama (Giatman, 2005).

c. Biaya perawatan (*maintenance cost*)

Biaya perawatan (*maintenance cost*) adalah biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga/menjamin *performance* agar selalu prima dan siap untuk dioperasikan. Contohnya adalah biaya untuk mengganti salah satu alat pendukung sistem apabila terjadi kerusakan (Giatman, 2005).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan metode penelitian yang diterapkan pada tugas akhir ini. Metode penelitian meliputi beberapa aspek yaitu perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Perancangan Biogas digester, dan analisa ekonomi.

Pada perancangan PLTS terdapat beberapa tahapan kerja. tahapan kerja yang dimaksud yaitu menentukan intensitas cahaya matahari, melakukan studi beban, melakukan disain sistem PLTS, dan menentukan biaya sistem PLTS selama 20 tahun.

Seperti perancangan PLTS, perancangan biogas digester memiliki beberapa tahapan kerja antara lain; melakukan studi beban, disain biogas digester, dan menentukan biaya biogas digester selama 20 tahun.

Pada bagian analisa ekonomi akan dilihat perbandingan antara biaya sistem PLTS dengan PLN dan biogas digester dengan Gas Pertamina.

3.2 Perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)

Dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terdapat beberapa tahapan kerja, antara lain :

3.2.1 Menentukan intensitas cahaya matahari

Intensitas cahaya matahari merupakan sumber energi utama dalam pembangkit listrik tenaga surya. Pada tugas akhir ini data intensitas cahaya matahari diperoleh dari database *Surface meteorology and Solar Energy* (SMSE) milik *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), Amerika Serikat, menggunakan *username*

dan *password* khusus. Untuk mendapatkan data dari SMSE NASA diperlukan titik koordinat Desa Kuala Lala Kec. Sungai Lala Kab. INHU.

3.2.2 Studi beban

Studi beban listrik: meliputi jenis dan ukuran beban keseluruhan di rumah dan konsumsi energi harian. Konsumsi energi harian (dalam Watt hour) akan dihitung berdasarkan ukuran beban (dalam Watt) dan lama beban digunakan per hari (dalam jam).

Dalam melakukan studi beban pada desa yang belum mempunyai beban listrik yaitu Desa Kuala Lala merupakan suatu tantangan tersendiri. Karena masyarakat di desa belum mempunyai beban listrik dari PLN.

Untuk menyelesaikan kasus seperti ini diambil alternatif bahwa studi beban dilakukan pada desa tetangga yaitu Desa Batu Gajah dimana desa ini sudah mempunyai beban Listrik dari PLN dan jarak nya 5 Km dari Desa Kuala Lala. Secara tidak langsung pola hidup khususnya dalam penggunaan beban listrik antara kedua desa tidak akan jauh berbeda. beban listrik berupa rekening listrik akan diambil sebanyak delapan sampel. Sebagai catatan bahwa banyaknya sampel atau luasnya sampel yang diambil berkaitan dengan kemampuan, waktu, dan biaya yang dimiliki oleh peneliti (Teguh, 2005)

3.2.3 Perancangan Sistem PLTS

Perancangan sistem PLTS untuk rumah mandiri energi meliputi penentuan kriteria sistem, penentuan bulan desain, perancangan ukuran dan spesifikasi inverter, perancangan ukuran dan spesifikasi baterai, perancangan ukuran dan spesifikasi BCR, dan perancangan ukuran dan spesifikasi modul surya. Perancangan ini akan dilakukan menggunakan *Australian Standard AS 4509.2—2002 tentang Stand Alone Power Systems Bagian 2: System Design and Guidelines*.

3.2.4 Menentukan biaya sistem PLTS

Penentuan nilai ekonomi dari perancangan sistem PLTS meliputi ; biaya pembangunan awal mulai dari bahan baku sampai instalasi, biaya operasi, dan biaya perawatan.

3.3 Perancangan sistem biogas digester

Sama halnya dengan perangan sistem PLTS, perancangan sistem biogas digester memiliki beberapa tahapan kerja, antara lain :

3.3.1 Studi beban dan perancangan biogas digester

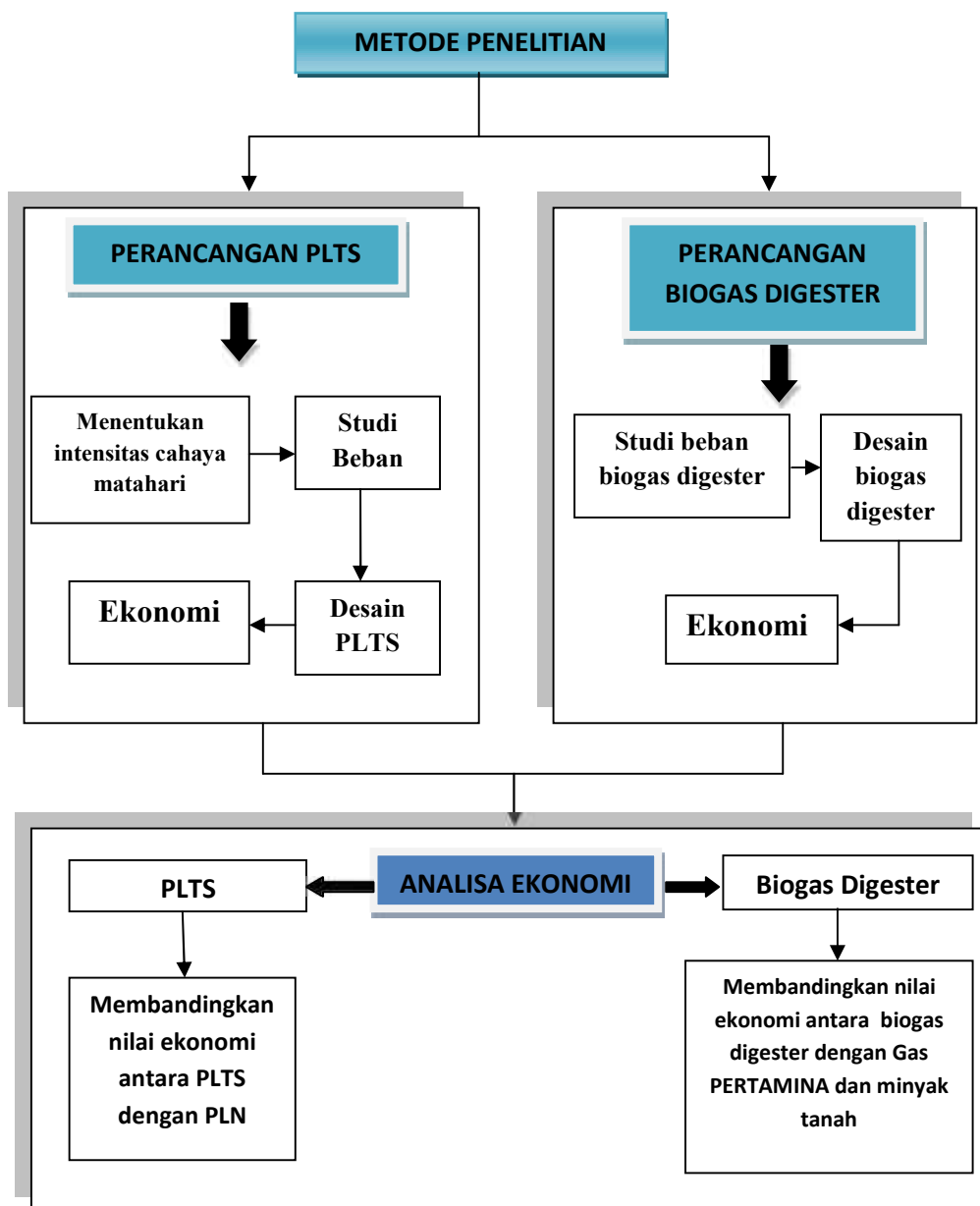
Studi beban dan perancangan biogas digester: meliputi lamanya memasak rata-rata warga Desa Kuala Lala per hari dan Jumlah minimal ternak yang dipelihara. Di dalam penelitian ini, peneliti mengambil sampel sebanyak delapan rumah warga di Desa Kuala Lala.

3.3.2 Menentukan biaya sistem biogas digester

Penentuan nilai ekonomi dari perancangan sistem biogas digester meliputi; biaya pembangunan awal, biaya operasi, dan biaya perawatan. Lama waktu operasi sistem yang digunakan adalah 20 tahun.

3.4 Analisa ekonomi

Analisa ekonomi rumah mandiri energi akan dilakukan dengan Pembandingan biaya awal, biaya operasi, dan biaya perawatan dengan rumah yang disuplai listrik dari PLN, suplai gas dari PERTAMINA, dan minyak tanah dari PERTAMINA.



Gambar 3.1 Diagram alur metode penelitian

BAB IV

PERANCANGAN SISTEM DAN HASIL

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dibahas secara tuntas mengenai perancangan rumah mandiri energi menggunakan tenaga surya dan biogas. Secara garis besar bab ini berisikan perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), perancangan biogas digester, dan analisa ekonomi.

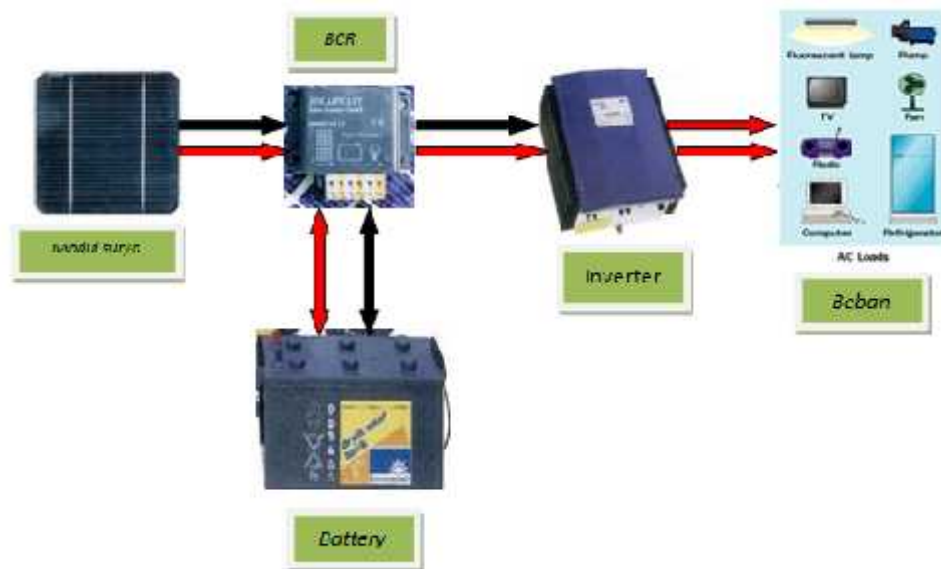
Perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) meliputi beberapa tahapan kerja antara lain; menentukan intensitas cahaya matahari, studi beban listrik, disain PLTS, dan menentukan biaya sistem PLTS selama 20 tahun.

Perancangan biogas digester meliputi beberapa tahapan kerja antara lain; studi beban dan disain biogas digester, dan biaya sistem biogas digester selama 20 tahun.

Dan yang terakhir akan dibahas mengenai analisa ekonomi yang meliputi perbandingan nilai ekonomi antara rumah mandiri energi dengan biaya dari PLN, gas dari PERTAMINA, dan minyak tanah dari PERTAMINA.

4.2 Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Sebelum memasuki perancangan PLTS terlebih dahulu dapat dilihat blok diagram dari perancangan PLTS pada gambar 4.1. Pada gambar dapat terlihat bagaimana alur sistem bekerja dan menghasilkan arus listrik yang nantinya dapat memenuhi kebutuhan beban.



Gamabar 4.1 Blok diagram sistem PLTS

Dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) perlu diketahui tahapan-tahapan kerja dalam perancangan, sehingga nantinya perancangan ini menghasilkan *finishing* sesuai dengan yang diharapkan. Tahapan-tahapan kerja tersebut diuraikan sebagai berikut :

4.2.1. Menentukan Intensitas cahaya matahari

Intensitas cahaya matahari merupakan sumber energi utama dalam pembangkit listrik tenaga surya. Pada tugas akhir ini data intensitas cahaya matahari diperoleh dari database *Surface meteorology and Solar Energy* (SMSE) milik *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), Amerika Serikat, menggunakan *username* dan *password* khusus. Untuk mendapatkan data dari SMSE NASA diperlukan titik koordinat dari daerah Desa Kuala Lala Kec. Sungai Lala Kab. INHU. Pencarian didalam *Google Earth* titik koordinat daerah tersebut adalah 0,5 LS dan 102,5 BT

Intensitas cahaya matahari rata-rata per bulan pada permukaan horizontal (kWh/m²/hari) pada Desa Kuala Lala dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Intensitas cahaya matahari dan *Clearness Index* di
Desa Kuala Lala

(Sumber: SMSE NASA, 2010)

Intensitas cahaya matahari yang paling tinggi terlihat pada bulan April yaitu mencapai 4,93 kWh/m²/hari. Rata-rata intensitas matahari per tahun adalah 4,67 kWh/m²/hari. Hal ini memperlihatkan bahwa intensitas cahaya matahari di Desa Kuala Lala berpotensi untuk dibangun sistem PLTS. Pada gambar diatas *clearness index* tertinggi terjadi pada bulan Juni yaitu 0,5. Sedangkan untuk rata-rata *clearness index* rata-rata per tahun adalah 0,46.

4.2.2. Studi beban listrik

Studi beban pada desa yang belum mempunyai beban listrik yaitu Desa Kuala Lala merupakan suatu kesulitan tersendiri. Hal ini disebabkan karena masyarakat di desa belum mempunyai jaringan listrik dari PLN. Maka dalam kasus ini diambil sebuah solusi bahwa studi beban akan dilakukan pada desa tetangga yaitu Desa Batu Gajah dimana desa ini sudah mempunyai beban Listrik dari PLN dan jarak nya 5 Km dari Desa Kuala Lala. Di asumsikan pola hidup khususnya dalam penggunaan beban listrik antara kedua desa tidak akan jauh berbeda.

Dalam pengambilan sampel beban akan dilihat beberapa kriteria, antara lain sebagai berikut :

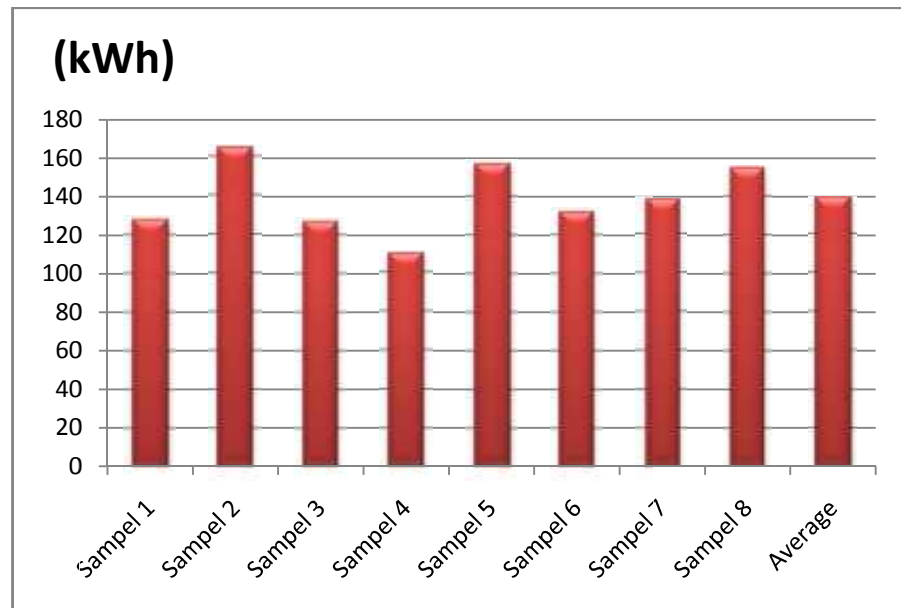
a. Kapasitas rumah

Kapasitas rumah sangat menentukan dalam besar kecilnya penggunaan beban listrik. Dalam penelitian kapasitas rumah akan dilihat antara desa yang belum memakai beban listrik dengan desa yang sudah memakai beban listrik dari PLN, apakah kapasitas rumah keduanya hampir sama atau tidak? Kalau sama, ini merupakan indikasi awal bahwa nantinya pola hidup dalam penggunaan beban listrik akan sama.

b. Jenis beban

Dalam penelitian yang dilakukan, penulis akan mengambil data jenis beban yang rata-rata di gunakan pada Desa Batu Gajah.

Dari survei yang dilakukan, telah didapatkan delapan sampel total beban listrik per bulan pada Desa Batu Gajah. Data ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



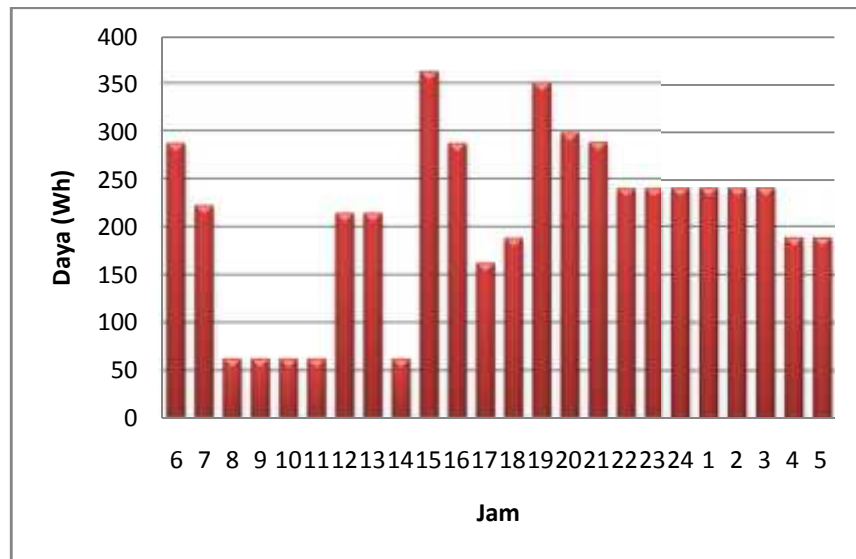
Gambar 4.3 Rata-rata energi listrik yang digunakan per bulan berdasarkan rekening listrik warga

Dari delapan sampel di atas dapat dikalkulasikan bahwa energi rata-rata yang digunakan dalam sebulan adalah 139 kWh. Dari rata-rata per bulan dapat dihitung total rata-rata energi yang digunakan dalam sehari adalah 4,5 kWh.

Pada tabel 4.1 diperlihatkan beberapa peralatan listrik rata-rata yang digunakan serta konsumsi energi total yang digunakan dalam satu hari. Dari penentuan energi total harian tersebut akan didapatkan kurva beban listrik harian rumah tangga. Energi total harian merupakan jumlah energi yang dibutuhkan oleh beban listrik rumah tangga setiap harinya. Beban terpasang, daya terpasang, lama penggunaan beban, serta kebutuhan energi setiap hari.

Tabel 4.1 Data beban listrik rata-rata rumah tangga

No	Beban	Daya (W)	Jumlah	Total Daya (W)	Lama Penggunaan per hari (Jam(h))	Waktu digunakan	Energi (Wh)	Faktor daya	Contribution to max. demand (VA)	Surge factor	Contribution to surge demand for design (VA)
1	Lampu Fluorescent	18	7	126	12	18.00-06.00	1512				
2	TV	80	1	80	9	06.00-08.00 12.00-14.00 16.00-18.00 19.00-22.00	720	0,8	100		100
3	Receiver digital	20	1	20	9	06.00-08.00 12.00-14.00 16.00-18.00 19.00-22.00	180				
4	DVD	60	1	60	1/4	07.00-07.15	15				
5	Lemari pendingin	Standby: 12 W Menyala: 50 W	1	62	24	01.00-24.00	1488				
6	Kipas angin	52	1	52	9	12.00-14.00 19.00-20.00 22.00-04.00	468	0,8	65		65
7	Pompa air	125	1	125	2	06.00-07.00 16.00-17.00	250	0,7	178,6	7	1250,2
8	Cas Handphone	5	2	10	2	19.00-21.00	20				
9	Setrika	300	1	300	1/3	15.00-15.20	100				
Total daya keseluruhan (W)											835
Total Energi per hari (Wh)											4753
Total Contribution to max. demand (VA)											343,6
Total Contribution to surge demand (VA)											1415,2



Gambar 4.4 Profil beban listrik rumah tangga per hari

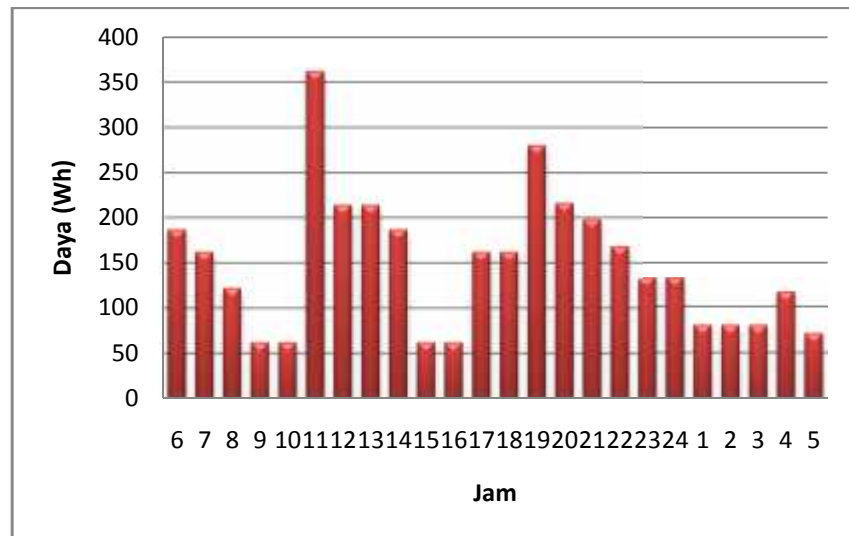
Dari gambar 4.4 diatas dapat dilihat bahwa beban puncak terjadi pada malam hari mulai dari pukul 19.00-20.00 yaitu sebesar 362 Watt. Untuk total energi rata-rata per hari dapat dilihat pada tabel 4.1 adalah 4753 Wh.

Dari tabel 4.1 dan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pemakaian listrik masyarakat Desa Batu Gajah belum bisa dikatakan hemat energi. Ini dapat dilihat dari pemakaian keseluruhan lampu yang hidup terus menerus selama 12 jam. Dapat diasumsikan bahwa untuk lampu kamar mandi, dapur, ruang tamu dan kamar tidur bisa dipakai pada saat dibutuhkan saja. Apabila hal itu diterapkan maka secara langsung masyarakat telah menerapkan pola hidup hemat energi (peralatan hanya menyala saat digunakan).

Untuk menerapkan pola hidup hemat energi maka akan direkomendasikan pemakaian energi seperti ditunjukkan oleh tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data beban listrik rata-rata rumah tangga (*Recommended*)

No.	Beban	Daya (W)	Jumlah	Total Daya (W)	Lama Penggunaan per hari (Jam(h))	Waktu digunakan	Energi (Wh)	Faktor daya	Contribution to max. demand (VA)	Surge factor	Contribution to surge demand for design (VA)
1	Lampu <i>Fluorescent</i> :	18									
	Ruang tamu		1	18	1/2	19.00-19.30	9	-	-	-	-
	Ruang tengah		1	18	6	18.00-24.00	108				
	dapur		1	18	4	18.00-22.00	72				
	Kamar tidur 1		1	18	1	18.15-18.30	4,5				
						19.45-20.00	4,5				
						22.00-22.15	4,5				
						05.00-05.15	4,5				
	Kamar tidur 2		1	18	1	18.15-18.30	4,5				
						19.45-20.00	4,5				
						22.00-22.15	4,5				
						05.00-05.15	4,5				
	Kamar mandi		1	18	1	18.00-18.15	4,5				
						19.30-19.45	4,5				
						04.30-05.00	9				
	Teras rumah		1	18	10	24.00-05.00	108				
Total penggunaan energi lampu neon							351				
2	TV	80	1	80	7	07.00-08.00 12.00-14.00 17.00-18.00 19.00-22.00	560	0,8	100	-	100
3	<i>Receiver digital</i>	20	1	20	7	07.00-08.00 12.00-14.00 17.00-18.00 19.00-22.00	140	-	-	-	-
4	DVD	60	1	60	1/5	08.00-08.10	12	-	-	-	-
5	Lemari pendingin	Standby : 12 W	1	12	12	01.00-24.00	144	-	-	-	-
		Menyala : 50 W		50	12		600				
6	Kipas angin	52	1	52	5,5	12.00-14.00 22.00-01.00	286	0,8	65	-	65
7	Pompa air	125	1	125	2	06.00-07.00 14.00-15.00	250	0,7	178,6	7	1250,2
8	Cas <i>Handphone</i>	5	2	10	2	18.00-20.00	20	-	-	-	-
9	Setrika	300	1	300	1/3	11.00-11.20	100	-	-	-	-
Total daya keseluruhan (W)											835
Total Energi per hari (Wh)											2463
Total Contribution to max. demand (VA)											343,6
Total Contribution to surge demand (VA)											1415,2



Gambar 4.5 Profil beban listrik rumah tangga per hari direkomendasikan

Dari tabel 4.2 dan gambar 4.5 yang direkomendasikan dapat dilihat bahwa penggunaan total energi per hari menurun. Untuk total energi per hari dari 4753 Wh menjadi 2463 Wh dan untuk beban puncak sendiri masih sama yaitu sebesar 362 Watt.

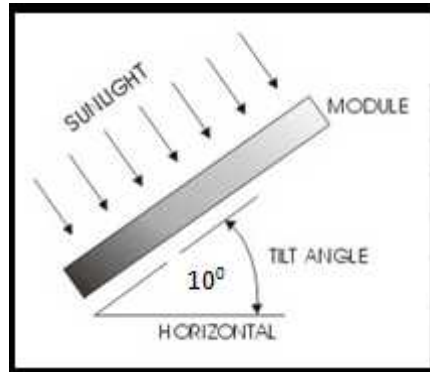
4.2.3. Perancangan Sistem PLTS

Sebelum memasuki penentuan spesifikasi alat pendukung sistem PLTS, perlu diketahui beberapa informasi umum perancangan, antara lain :

a. Sudut kemiringan modul surya (*tilt angle*)

Peletakan sudut kemiringan modul surya ini sangat penting karena bertujuan untuk mengoptimalkan produksi energi yang dihasilkan modul surya. Sesuai dengan ketentuan standar Australia AS 4509.2-2002 sudut kemiringan peletakan modul surya sama dengan derajat lintang lokasi (Desa Kuala Lala). Karena derajat lintang Desa 0,5 lintang selatan maka *tilt angle*

mestinya $0,5^0$. Karena posisi ini terlalu datar sehingga tidak memaksimalkan pembersihan oleh air hujan. Sesuai dengan rekomendasi dari AS 4509-2002 akan digunakan sudut kemiringan modul surya (*tilt angle*) sebesar 10^0 seperti ditunjukkan gambar 4.6.



Gambar 4.6 Sudut kemiringan modul surya (*tilt angle*)

(Sumber: <http://www.pvsolarchina.com/wp-content/uploads/2010/12/How-to-Install-the-Solar-Panel-Safely.jpg>)

b. Efisiensi inverter rata-rata (η_{inv})

Efisiensi inverter rata-rata pada tugas akhir ini adalah 85%

c. *Design load energy* (E_{tot})

Design load energy adalah konsumsi energi rata-rata per hari pada rumah tangga. Energi rata-rata per hari disimbolkan dengan E_{tot} .

$$E_{tot} = E / \eta_{inv}$$

Di mana :

E_{tot} = Energi rata-rata per hari yang diperlukan (Wh)

E = Konsumsi beban perhari (Wh)

η_{inv} = Efisiensi inverter rata-rata

maka :

$$E_{\text{tot}} = 2463 \text{ Wh} / 85\%$$

$$E_{\text{tot}} = 2897,6 \text{ Wh}$$

d. Daya maksimum pada *line* DC

Sebagaimana sudah diketahui diatas daya maksimum pada perancangan PLTS adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{dc} &= \frac{\text{Total contribution to max.demand} \times 0,8}{85\%} \\ &= \frac{343,6 \text{ VA} \times 0,8}{85\%} \\ &= 323,4 \text{ W} \end{aligned}$$

= nilai yang digunakan adalah beban puncak 362 Watt karena bertujuan untuk meningkatkan keamanan sistem dan dapat memilih spesifikasi inverter yang sesuai untuk sistem PLTS.

e. Tegangan operasi DC

Tegangan operasi DC adalah tegangan yang melewati *line* DC yang nilai nya sama dengan tegangan baterai. Menurut standar Australia AS 4509.2-2002, penentuan tegangan operasi DC di tentukan oleh perancang dimana tegangan operasi DC akan digunakan pada skripsi ini adalah 12 Volt.

f. Perkiraan arus DC pada beban maksimum

Perkiraan arus DC pada beban maksimum adalah di mana beban puncak berbanding terbalik dengan tegangan operasi DC.

$$I = \frac{362 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 30,2 \text{ A}$$

g. Bulan disain

Bulan disain yang digunakan pada tugas akhir ini adalah bulan yang mendapatkan intensitas cahaya matahari paling kecil. Dari data sebelumnya intensitas cahaya matahari yang paling kecil terdapat pada bulan januari sebesar $4,2 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. Tujuan menggunakan bulan disain terendah adalah agar PLTS dapat memenuhi kebutuhan beban setiap saat sepanjang tahun. Kelemahan dari pilihan ini adalah biaya naik untuk modul dan baterai. Karena variasi di khatulistiwa kecil, jadi dengan memilih bulan terburuk diperkirakan tidak akan menambah biaya investasi secara signifikan.

Setelah informasi umum di atas diketahui, selanjutnya akan memasuki penentuan spesifikasi komponen sistem PLTS. Tentunya tujuan penentuan spesifikasi alat ini adalah supaya sistem PLTS mampu memasok energi yang dibutuhkan.

a. Ukuran dan spesifikasi *inverter*

Dalam penentuan spesifikasi inverter mempunyai beberapa istilah, antara lain:

- *Inverter $\frac{1}{2} h$ maximum demand*, dengan simbol $S_{inv,30min}$, adalah daya semu maksimum selama 30 menit disaat beberapa beban digunakan secara bersamaan. Pada tugas akhir ini nilai *inverter $\frac{1}{2} h$ maximum demand* diambil dari nilai beban puncak adalah 362 Watt. Sebagai catatan menurut standar Australia AS 4509.2-2002 nilai $S_{inv,30min}$ diambil dari nilai *Total Contribution to max. Demand*, berhubung nilai yang didapat lebih kecil dari beban puncak maka nilai yang dipakai adalah nilai dari beban puncak itu sendiri yaitu 362 Watt.

- *Inverter surge demand*, dengan simbol $S_{inv,sur}$, adalah beban puncak sesaat yang biasanya selama 10 detik atau kurang (diukur dalam VA). Karena beban AC memiliki komponen induktif maka pada tabel 4.2, *surge demand* diambil dari nilai total *contribution to surge demand (design)* yang dikalkulasikan sebesar 1415,2 VA.
- *Safety factor* (SF), standar Australia AS 4509.2-2002 merekomendasikan *safety factor* sebesar 10%.

Dengan mempertimbangkan *safety factor*, maka dihitung kembali *inverter ½ h maximum rating* dan *inverter surge rating* yang diusulkan/direkomendasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_{inv,30min} (recommended) &= (1 + SF) \times S_{inv,30min} \\
 &= (1 + 10\%) \times 362 \text{ Watt} \\
 &= 398,2 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{inv,sur} (recommended) &= (1+SF) \times S_{inv,sur} \\
 &= (1+10\%) \times 1415,2 \text{ VA} \\
 &= 1556,7 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Setelah $S_{inv,30min}$ dan $S_{inv,sur}$ yang direkomendasikan sudah diketahui maka inverter yang sesuai dan yang tersedia di pasaran dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data spesifikasi inverter

<i>Manufacture</i>	Ket.
<i>Range input current</i>	30 A
Tegangan input	12 VDC
Tegangan output	220 VAC
Daya output	900 Watt
Efisiensi maksimum	90%
Daya output pada suhu lingkungan 25°C	
Daya maksimum kontinyu	Maximum surge rating
900 Watt	1800 Watt

(Sumber : <http://www.adaptelec.com/powerbright-pw90012-12v-dc-to-120v-ac-power-inverter-900-watt-capacity-p-68.html>)

b. Ukuran dan spesifikasi baterai

Baterai pada sistem PLTS ini merupakan sebuah komponen yang menyimpan arus listrik DC yang berasal dari modul surya melalui *battery charger controller* (BCR). Kemudian arus listrik DC di alirkan ke *inverter* untuk dikonversikan menjadi arus AC guna menyuplai energi ke beban AC .

Ukuran dan spesifikasi baterai harus mampu melayani beban dalam waktu yang sudah di tentukan (waktu otonomi). Untuk itu diperlukan perhitungan untuk menentukan ukuran dan spesifikasi baterai.

Berikut ini adalah tahapan yang akan dilalui dalam menentukan ukuran dan spesifikasi baterai :

- *Design load energy* (E_{tot})

Design load energy adalah total energi harian yang dihasilkan oleh system dan energi yang dihasilkan dapat direferensikan pada d.c bus yaitu 2897,6 Wh.

- *Design load Ah* (Ah)

Satuan energi (dalam Wh) dikonversikan menjadi Ah yang sesuai dengan satuan kapasitas baterai. Besarnya beban yang harus dilayani oleh baterai adalah sebagai berikut :

$$Ah = \frac{E_{tot}}{Tegangan\ operasi\ DC}$$

$$Ah = \frac{2897,6\ Wh}{12VDC}$$

$$Ah = 241,5\ Ah$$

- Waktu otonomi

Waktu otonomi disimbolkan dengan T_{aut} , adalah waktu yang diperlukan oleh sistem untuk melayani beban tanpa masukan energi dari modul surya dan tanpa melalui DoD maximum baterai. Menurut standar Australia AS 4509.2-2002, bahwa penentuan waktu otonomi diserahkan kepada perancang/*designer* sistem. Semakin lama waktu otonomi yang ditentukan maka semakin besar pula kapasitas baterai yang diperlukan dan semakin besar biaya yang dibutuhkan, dan sebaliknya. Dalam perancang sistem PLTS, digunakan waktu otonomi selama 2 hari. Artinya, sistem PLTS akan dapat melayani beban selama dua hari ketika intensitas cahaya matahari tidak cukup untuk dikonversikan pada modul surya untuk menjadi energi listrik misalnya, pada musim hujan dimana kemungkinan pada siang hari langit tertutup oleh mendung.

- *Maximum depth of discharge (DoD)*

Maximum depth of discharge (DoD) di simbolkan dengan DoD_{max} , adalah besarnya muatan yang ditarik (*discharge*) ketika baterai terisi penuh pada kecepatan *discharge* yang dipilih. Secara umum DoD dinyatakan dalam bentuk persentase dari kapasitas baterai, misalnya; penarikan 20 Ah dari baterai yang memiliki kapasitas 100 Ah menghasilkan *discharge* 20%. Pada tugas akhir ini DoD_{max} yang dipilih sebesar 80 %, artinya sistem mengizinkan baterai untuk dikosongkan hingga menyisakan 20% muatan didalam baterai. Jika kondisi itu terjadi, maka baterai tidak akan melayani beban sebelum di isi muatan kembali.

- *Nominal battery discharge rate*

Nominal battery discharge rate disimbolkan dengan C_x , adalah nominal kecepatan *discharge* baterai yang disesuaikan dengan waktu otonomi. Sebagai catatan bahwa daya output dari baterai dapat menjadi faktor pembatas dalam menentukan ukuran baterai. Pada skripsi ini sistem PLTS memiliki waktu otonomi selama 2 hari. Dengan melihat waktu otonomi dan ukuran baterai yang ada dipasaran maka *nominal battery discharge rate* adalah sebesar 20 jam, di simbolkan dengan C_{20} .

- Temperatur rata-rata harian minimum

Kapasitas muatan baterai dipengaruhi oleh suhu elektrolit, umumnya menurun dengan penurunan suhu. Variasi suhu dalam sel baterai lebih lambat dari pada suhu udara ruangan. Oleh karena itu kapasitas baterai harus berdasarkan suhu udara minimum rata-rata harian pada

Desa Kuala Lala Kec. Sungai Lala yaitu 32° C (forumbebas, 2010).

- Faktor koreksi temperatur

Faktor koreksi temperatur menurut standar Australia AS 4509.2-2002 adalah sebesar 98% untuk baterai asam timbal yang *discharge rate* nya sebesar 100 jam (C_{100}) dan 20 jam (C_{20}).

- Kapasitas baterai yang dibutuhkan

Setelah *design load Ah*, waktu otonomi, *Maximum depth of discharge* (DOD), dan *temperature correction factor* diketahui, maka kapasitas baterai yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_{20} &= \frac{Ah \times Tout}{DOD_{max} \times temperature\ correction\ factor} \\ &= \frac{241,5\ Ah \times 2}{80\% \times 98\%} \\ &= 616,1\ Ah \end{aligned}$$

- *Number of strings in parallel*

Number of strings in parallel adalah jumlah percabangan baterai yang dihubungkan secara paralel. Untuk menentukan jumlah percabangan baterai yang dihubungkan secara paralel perlu diketahui spesifikasi baterai yang akan digunakan. Spesifikasi baterai yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data spesifikasi Baterai

<i>Manufacture</i>	<i>Ket.</i>
Tegangan kerja	12 VDC
Kapasitas	102 Ah
<i>Discharge rate</i>	C ₂₀

(Sumber: <http://www.trojanbattery.com/products/31-AGM12VOverDrive.aspx>)

Setelah spesifikasi baterai ditentukan, maka untuk menentukan *Number of strings in parallel* dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{NoSP} &= \frac{\text{kapasitas baterai yang dibutuhkan}}{\text{kapasitas (manufacture)}} \\
 &= \frac{616,1 \text{ Ah}}{102 \text{ Ah}} \\
 &= 6,04 \approx 6 \text{ Baterai}
 \end{aligned}$$

- *Number of cell/block in series*

Number of cell/block in series adalah jumlah baterai yang terhubung secara seri disetiap percabangan.

$$\begin{aligned}
 \text{Number of cell in series} &= \frac{\text{Tegangan operasi}}{\text{tegangan baterai yang dipilih}} \\
 &= \frac{12 \text{ VDC}}{12 \text{ VDC}} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

- *Capacity of battery bank at nominal discharge rate*

Capacity of battery bank at nominal discharge rate adalah kapasitas baterai yang dihasilkan setelah perancangan.

$$\begin{aligned}
 C_{20} \text{ (Design)} &= \text{Kapasitas baterai} \times \text{jumlah string parallel} \\
 &= 102 \text{ Ah} \times 6 \\
 &= 612 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

- *Day of autonomy for selected battery*

Waktu otonomi adalah jumlah hari yang dapat dilayani oleh baterai untuk mensuplai energi beban tanpa adanya energi dari PLTS.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\text{DODma} \times \text{capacity of battery} \times \text{temeperature corection factor}}{\text{design load Ah for battery sizing}} \\
 &= \frac{80\% \times 612 \text{ Ah} \times 98\%}{241,5 \text{ Ah}} \\
 &= 1,98 \approx 2 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

- *Nominal daily DoD*

Nominal daily DoD disimbolkan dengan DoD_d , adalah besarnya *discharge* rata-rata harian dari baterai.

$$\begin{aligned}
 \text{DoD}_d &= \frac{\text{Design load Ah}}{\text{Capacity of battery (Design)}} \\
 &= \frac{241,5 \text{ Ah}}{612} \\
 &= 0,39 = 39\%
 \end{aligned}$$

c. Ukuran dan spesifikasi modul surya dan regulator

Setelah spesifikasi *inverter* , dan baterai diketahui selanjutnya akan akan ditentukan spesifikasi modul surya. Tujuan penentuan spesifikasi modul surya adalah agar modul surya mampu mengisi energi ke baterai yang nantinya bisa digunakan untuk

disalurkan ke beban sesuai dengan waktu otonomi yang telah ditentukan.

Dalam menentukan spesifikasi modul surya perlu diketahui beberapa tahapan , antara lain :

- Koefisien kelebihan beban (*Oversupply co-efficient*)
Oversupply co-efficient disimbolkan dengan f_o , adalah sebuah nilai yang sudah ditetapkan yang digunakan dalam perancangan sehingga nantinya menentukan berapa banyak modul surya yang digunakan. Adanya ketetapan tersebut juga bersangkutan dengan besar output sistem PLTS yang bervariasi sehingga kemungkinan beban lebih besar dari output yang dihasilkan. Untuk sistem PLTS, AS 4509.2-2002 menyarankan nilai f_o antara 1,3 hingga 2. Pada tugas akhir ini nilai f_o yang digunakan adalah 1.5.
- *Nominal battery efficiency*
Nominal battery efficiency disimbolkan dengan η_{coul} , adalah nilai energi yang terdapat pada baterai (atau efisiensi Watt-jam). Dalam AS 4509.2-2002 efisiensi baterai berkisar antara 90% hingga 95% untuk baterai *lead acid*. Pada tugas akhir ini akan menggunakan efisiensi baterai sebesar 90%.
- Penentuan spesifikasi modul surya (*Selected module*)
Spesifikasi modul surya yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data spesifikasi modul surya

<i>Manufacture</i>	Ket.
Daya modul maksimum (P_{stc})	210 Wp
Tegangan modul maksimum	18,30 VDC
Arus hubungan singkat modul (I_{sc})	12,11 A
Arus modul pada 14 V pada suhu operasi ($I_{T,v}$) (Dalam hal ini digunakan nilai arus maksimum karena variasi temperature ambient di Indonesia kecil)	11.48 A
Toleransi pabrik terhadap daya output	10%
<i>Derating factor</i> karena debu (f_{dirt})	95%

(Sumber :

http://sunelec.com/index.php?main_page=product_info&cPath=5&products_id=377)

- *Irradiation on tilted plane*

Irradiation on tilted plane disimbolkan dengan H_{tilt} , adalah nilai intensitas cahaya matahari yang jatuh pada bidang modul dengan kemiringan *tilt angle*. Penting pada kawasan utara dan selatan Indonesia, maka digunakan radiasi pada bidang horizontal, yaitu bulan Januari sebesar 4,2 kWh/m²/day. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, tujuan menggunakan intensitas cahaya matahari pada bulan terburuk adalah supaya nantinya sistem PLTS mampu menyuplai energi setiap saat.

- *Required array output*

Required array output adalah besar daya output yang perlu dihasilkan pada modul surya (dalam satuan Ah).

$$\begin{aligned}
 \text{Required array output} &= \frac{\text{Design load Ah}}{\text{nominal battery efficiency}} \\
 &= \frac{241,5 \text{ Ah}}{90\%} \\
 &= 268,3 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

- *Daily charge output per module*

Daily charge output per module adalah daya yang dihasilkan sebuah modul dalam satu hari (dalam Ah).

$$\begin{aligned}
 \text{DCO per module} &= (1 - \text{toleransi pabrik}) \times I_{T,V} \times f_{\text{dirt}} \times H_{\text{tilt}} \\
 &= (1 - 10\%) \times 11,48 \text{ A} \times 95\% \times 4,2 \\
 &= 41,2 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

- *Number of parallel strings required*

Number of parallel strings required adalah jumlah cabang modul surya yang dihubungkan secara paralel.

$$\begin{aligned}
 \text{NoPSR} &= \frac{\text{required array output} \times f_o}{\text{daily charge output per module}} \\
 &= \frac{268,3 \text{ Ah} \times 1,5}{41,2 \text{ Ah}} \\
 &= 9,7 \text{ modul surya}
 \end{aligned}$$

- *Number of parallel string used*

Number of parallel string used adalah jumlah *actual* modul surya yang dipakai dan ini ditentukan oleh *designer*. Sebelumnya sudah didapatkan jumlah modul surya yang akan dipakai yaitu 9,7 modul sehingga dibulatkan menjadi 10 modul.

- *Number of series modules per string*

Number of series modules per string disimbolkan dengan N_s , adalah jumlah modul surya yang dihubungkan secara seri di setiap cabang.

$$N_s = \frac{\text{tegangan operasi}}{\text{nominal modules voltage}} \\ = \frac{12 \text{ VDC}}{12 \text{ VDC}} = 1$$

- *Total number of modules in array*

Total number of modules in array disimbolkan dengan N , adalah total modul surya yang digunakan dalam sistem PLTS.

$$N = N_p \times N_s \\ = 10 \times 1 = 10 \text{ modul surya}$$

d. Ukuran dan spesifikasi *Battery charge regulator* (BCR)

BCR berfungsi sebagai pengontrol pengisian/*charge* baterai atau bisa dikatakan sebagai sistem proteksi bagi baterai yang bertujuan untuk menghindari baterai dari kerusakan karena tidak stabilnya arus yang masuk. Dalam menentukan spesifikasi BCR harus mengikuti beberapa tahapan, antara lain :

- *20 h rate capacity of selected cell/block*

20 h rate capacity of selected cell/block adalah kapasitas yang tertera pada *manufacture* baterai. Pada pemilihan spesifikasi baterai sebelumnya kapasitas yang dipilih adalah 102 Ah.

- *20 h rate capacity of battery bank*

20 h rate capacity of battery bank disimbolkan dengan C_{20} adalah total kapasitas baterai yang digunakan dalam sistem PLTS. Pada penentuan spesifikasi baterai sebelumnya bahwa total kapasitas baterai sudah diketahui yaitu pada *Capacity of battery (Design)* sebesar 612 Ah.

- *20 h charge rate for battery bank*

20 h charge rate for battery bank disimbolkan dengan I_{20} , adalah arus maksimum yang harus dihasilkan oleh *battery charge regulator* (satuan dalam A).

$$I_{20} = \frac{\text{20 h rate capacity for battery bank}}{20}$$

$$I_{20} = \frac{612 \text{ Ah}}{20}$$

$$I_{20} = 30,6 \text{ A}$$

- *Max. charge voltage at typical max. output current (V_{bc})*

V_{bc} adalah tegangan normal maksimum *charge* dari *baterai charge regulator* pada arus maksimum. Melihat dari data spesifikasi BCR yang ada dipasaran, maka pada tugas akhir ini menggunakan BCR dengan *recommended max. charging current* sebesar 40 A.

Tabel 4.6 Data spesifikasi BCR

<i>Manufacture</i>	Ket.
<i>Output current (I_{bc})</i>	40 A
<i>Nomianl Charger efficiency (η_{bc})</i>	80%
<i>Output voltage :</i>	
<i>Charge</i>	14,2 – 15,5 Vdc
<i>Float</i>	13,4 – 13,8 Vdc
<i>Equalize</i>	16 Vdc

(Sumber : http://www.xantrex.com/documents/Battery-Chargers/TRUECharge-2/DS20090916_TRUECHARGE2_12-volt_20_40_60.pdf)

Dengan melihat data spesifikasi pada tabel 4.6 maka dapat ditentukan nilai dari *Max. charge voltage at typical max. output current (V_{bc})* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{bc} &= \text{typically voltage per cell} \times \text{number of cell in series} \\
 &= 13,8 \text{ Volt} \times 1 \\
 &= 13,8 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

- *Battery charge max. apperent power (S_{bc})*

Battery charge max. apperent power adalah daya nyata maximum yang dikonsumsi oleh baterai *charger* pada kondisi saat arus output maksimum dan tegangan pengisian normal maksimum (dalam VA). Untuk menghitung S_{bc} perlu diketahui nominal power faktor (pf_{bc}) BCR. Karena pada *literature* yang ada tidak dijumpai maka power faktor diasumsikan sebesar 0,8.

$$\begin{aligned}
 S_{bc} &= \frac{I_{bc} \times V_{bc}}{(\eta_{bc} \times p f_{bc} \times 1000)} \\
 &= \frac{40 A \times 13,8 Volt}{80\% \times 0,8 \times 1000} \\
 &= 0,9 VA
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan untuk menentukan spesifikasi komponen PLTS, maka ringkasan spesifikasi komponen PLTS yang akan digunakan, dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Ringkasan spesifikasi komponen PLTS

Jenis	Spesifikasi	
Inverter	<i>Range input current</i>	30 A
	Tegangan input	12 VDC
	Tegangan output	220 VAC
	Daya output	900 Watt
	Efisiensi maksimum	90%
	Daya maksimum kontinyu	900 Watt
	<i>Maximum surge rating</i>	1800 Watt
Battery bank	Tegangan kerja	12 VDC
	Kapasitas	612 Ah
	<i>Discharge rate</i>	C ₂₀
Modul surya	Daya modul maksimum (P _{stc})	210 Wp
	Tegangan modul maksimum	18,30 VDC
	Arus maksimum modul	11,48 A
	Toleransi pabrik terhadap daya output	10%
	Arus hubungan singkat modul (I _{sc})	12,11 A
	<i>Deracting factor</i> (f _{dirt})	95%

BCR	<i>Output current (I_{bc})</i>	40 A
	<i>Nominal charge efficiency (η_{bc})</i>	80%
	<i>Output voltage :</i>	
	<i>Charge</i>	14,2-15,5 Vdc
	<i>Float</i>	13,4-13,8 Vdc
	<i>Equalize</i>	16 Vdc

4.2.4. Biaya sistem PLTS

Biaya sistem PLTS akan dihitung selama umur investasi yang diperkirakan yaitu 20 tahun. Umur investasi ini dipilih berdasarkan umur rata-rata modul surya yang ada dipasaran yaitu sekitar 25 tahun (rayvel, 2011). Biaya-biaya yang dikalkulasikan pada bagian ini menggunakan metode *life cycle cost* yang memasukkan semua komponen biaya dari awal hingga akhir masa operasi sistem. Inflasi yang digunakan adalah 5,3% per tahun (Okezone, 2011).

a. Biaya investasi awal

Biaya-biaya investasi awal dikalkulasikan sebagai berikut :

- Biaya komponen PLTS

Setelah diketahui spesifikasi komponen pada sistem PLTS, selanjutnya akan ditentukan harga masing-masing komponen tersebut. Untuk mengetahui harga masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Daftar harga komponen-komponen PLTS

Komponen	Harga /unit	Jumlah	Harga	Sumber
Inverter	Rp. 750.000	1	Rp. 750.000	http://www.adaptelec.com/powerbright-pw90012-12v-dc-to-120v-ac-power-inverter-900-watt-capacity-p-68.html
Baterai	Rp. 1.900.000	6	Rp. 11.400.000	http://www.atbatt.com/product/3617.asp
BCR	Rp. 600.000	1	Rp. 600.000	http://www.bursaenergi.com/new-bcr-digital-12v-10a-p140.html
Modul surya	Rp. 3.500.000	10	Rp. 35.000.000	http://sunelec.com/index.php?main_page=product_info&cPath=5&products_id=377
Kabel, proteksi, meter, panel, box panel	-	-	Rp. 1.000.000	
Tiang dan siku penyangga modul surya	Rp. 150.000	10	Rp. 1.500.000	http://bursaenergi.com/solar-light-system-a10.html
Total harga			Rp. 50.250.000	

Sebagai catatan bahwa biaya diatas tidak termasuk biaya pengiriman barang dan instalasi PLTS.

- Biaya instalasi listrik

Berdasarkan wawancara dengan salah satu biro instalasi listrik di Kec. Sungai Lala biaya per titik untuk tahun 2011 sebesar Rp. 120.000. sehingga biaya instalasi listrik dapat dikalkulasikan sebagai berikut :

Tabel 4.9 Biaya instalasi listrik

komponen	jumlah	harga
Fitting lampu	7 titik	Rp. 840.000
Stop kontak	4 titik	Rp. 480.000
Total biaya		Rp. 1.320.000

Sehingga total biaya untuk investasi awal adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Total biaya investasi awal

Jenis	harga
Total biaya komponen PLTS	Rp. 52.150.000
Total biaya instalasi listrik	Rp. 1.320.000
Total biaya	Rp. 53.470.000

b. Biaya operasional (*operational cost*)

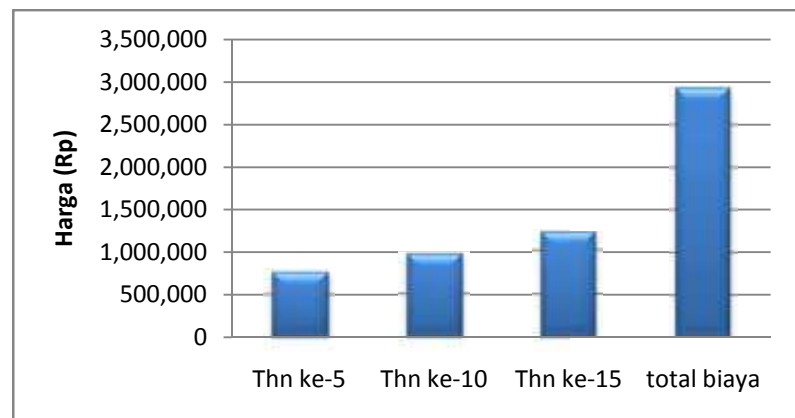
Biaya operasional dapat diabaikan karena untuk setiap harinya tidak memerlukan biaya agar bisa beroperasi. Dan ini merupakan salah satu keuntungan utama sistem PLTS dibandingkan dengan sistem pembangkit konvensional seperti PLN dan generator diesel yang memerlukan biaya operasional tinggi.

c. Biaya perbaikan (*maintenance cost*)

Biaya perbaikan pada PLTS diperlukan karena beberapa komponen seperti BCR, Baterai, dan inverter memiliki usia operasi lebih pendek dari pada usia operasi modul surya. Maka diperlukan penggantian komponen-komponen tersebut berdasarkan usia rata-rata.

- BCR

Harga BCR tahun sekarang = Rp. 600.000, Inflasi per-tahun = 5,3%, penggantian BCR = 5 tahun sekali

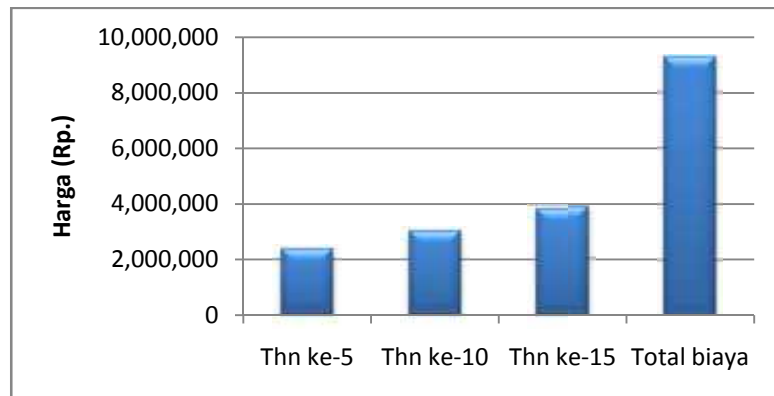


Gambar 4.7 Biaya penggantian BCR selama umur investasi

Dari gambar 4.7 total biaya penggantian BCR selama umur investasi adalah Rp. 2.935.500.

- Baterai

Harga betarai per unit tahun sekarang = Rp. 1.900.000, inflasi per tahun = 5,3%, penggantian baterai = 5 tahun sekali.

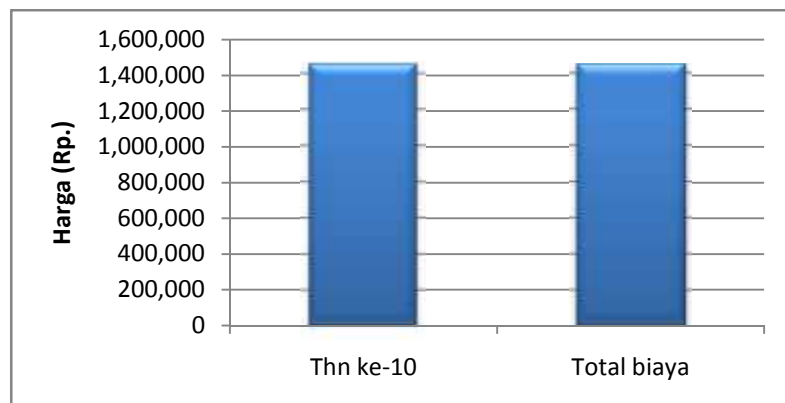


Gambar 4.8 Biaya penggantian baterai selama umur investasi

Dari gambar 4.8 biaya penggantian baterai per unit selama umur investasi adalah Rp. 9.290.000. Karena total baterai yang digunakan 6 buah, maka total biaya penggantian baterai selama umur investasi adalah Rp. 55.740.000.

- Inverter

Harga inverter tahun sekarang = Rp. 950.000, inflasi per tahun = 5,3%, Penggantian inverter = 10 tahun sekali



Gambar 4.9 Biaya penggantian inverter selama umur investasi

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa total biaya penggantian inverter selama umur investasi adalah Rp. 1.453.500.

Sebagai catatan untuk biaya perawatan modul surya tidak dikalkulasikan karena umur modul surya sama dengan umur investasi yaitu 20 tahun. Dengan didapatnya biaya perawatan masing-masing komponen PLTS maka total biaya perawatan dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Total biaya penggantian komponen PLTS

Komponen	Biaya
BCR	Rp. 2.935.500
Baterai	Rp. 55.740.000
Inverter	Rp. 1.453.500
Total biaya	Rp. 60.129.000

d. Total biaya selama umur investasi

Dengan diketahuinya biaya investasi awal, biaya operasional, dan biaya perawatan maka didapat total biaya yang dikeluarkan selama umur investasi dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Total biaya sistem PLTS selama umur investasi

Jenis	biaya
Total biaya investasi awal	Rp. 53.470.000
Total biaya operasional	Rp. 0
Total biaya perbaikan	Rp. 60.129.000
Total biaya	Rp. 113.599.000

4.3 Perancangan Biogas Digester

Dalam perancangan biogas digester perlu diketahui tahapan-tahapan kerja dalam perancangan, sehingga nantinya menghasilkan *finishing* sesuai yang diharapkan. Tahapan-tahapan kerja tersebut diuraikan sebagai berikut :

4.3.1. Studi beban

Studi beban dalam perancangan sistem biogas digester akan dilihat dari berapa lama rata-rata warga memasak dalam satu hari. Dalam tugas akhir ini akan diambil sampel sebanyak 8 kepala keluarga pada Desa Kuala Lala. Dari hasil survey yang dilakukan didapat data seperti tabel 4.13 dibawah ini:

Tabel 4.13 Data lamanya memasak per KK Desa Kuala Lala

Sampel	Lama waktu memasak
Sampel_1	2 jam
Sampel_2	2 jam
Sampel_3	2 jam
Sampel_4	2,5 jam
Sampel_5	3 jam
Sampel_6	1,5 jam
Sampel_7	2 jam
Sampel_8	2 jam
Rata-rata waktu memasak per hari	2,12 jam

4.3.2. Perancangan biogas digester

Sebelum membangun digester biogas perlu diketahui beberapa tahapan perancangan, antara lain sebagai berikut :

a. Jenis ternak

Jenis ternak rata-rata pada Desa Kuala Lala Kec. Sungai Lala-INHU adalah sapi.



Gambar 4.10 Sapi di Desa Kuala Lala

b. *Number of Animal*/Banyaknya ternak per keluarga (*n*)

Pada tugas akhir ini akan melihat ternak nominal dalam arti jumlah ternak yang paling sedikit per KK. Dari survey yang dilakukan maka jumlah sapi rata-rata yang dipelihara setiap KK warga Desa Kuala Lala adalah 2 ekor sapi.

c. *animal excrement*/komposisi kotoran

komposisi kotoran sapi terdiri dari 87% kandungan cair dan 13% kandungan padat. Rata-rata kotoran sapi yang dihasilkan dalam satu hari adalah 35 Kg (30,5 Kg kandungan cair dan 4,5 Kg kandungan padat) (Twidell and Weir, 2006).



Gambar 4.11 Kotoran sapi

d. *Retention time*(t_r)

Retention time adalah lamanya kotoran sapi berada didalam digester. Waktu penyimpanan kotoran sapi didalam digester adalah 20 hari (Twidell and Weir, 2006).

e. *Digester sizing*

Untuk memperoleh *digester sizing* perlu melewati beberapa tahapan perhitungan, antara lain sebagai berikut :

- Total massa kandungan padat (m_o) pada kotoran sapi dalam satu hari

$$\begin{aligned}m_o &= \text{kandungan padatan} \times n \\&= 4,5 \text{ Kg} \times 2 \\&= 9 \text{ Kg}\end{aligned}$$

- *Fluid Volume* (V_f)

Fluid volume adalah total fluida yang masuk ke digester dalam satu hari.

$$\begin{aligned}
 V_f &= \frac{m_o}{50 \text{ Kg/m}^3} \\
 &= \frac{9 \text{ Kg}}{50 \text{ Kg/m}^3} \\
 &= 0,18 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sebagai catatan nilai 50 Kg/m³ adalah masa jenis fluida yang masuk ke digester (Twidell and Weir, 2006). Secara umum perbandingan komposisi antara bahan kering dengan air adalah 1 : 4 (Kamase, 2010)

- *Volume digester biogas*

Volume digester biogas adalah kapasitas digester yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned}
 V_d &= V_f \times t_r \\
 &= 0,18 \text{ m}^3 \times 20 \\
 &= 3,6 \text{ m}^3 \approx 4 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- *Volume of biogas (V_b)*

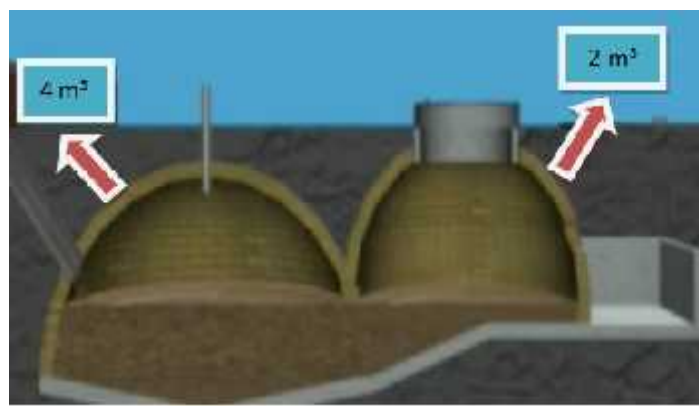
Volume of biogas adalah total gas methan yang dihasilkan dari digester biogas dalam satu hari.

$$\begin{aligned}
 V_b &= 0,24 \text{ m}^3/\text{Kg} \times m_o \\
 &= 0,24 \text{ m}^3/\text{Kg} \times 9 \text{ Kg} \\
 &= 2,16 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sebagai catatan bahwa biogas yang dihasilkan per kilogram kotoran sapi berkisar antara *range* 0,2 m³/Kg sampai dengan 0,4 m³/Kg (Twidell and Weir, 2006). Pada tugas

akhir ini akan memakai nilai $0,24 \text{ m}^3/\text{Kg}$ (Twidell and Weir, 2006).

Setelah perancangan digester biogas selesai, selanjutnya akan ditentukan volume digester kontrol. Perbandingan volume digester kontrol dan digester biogas adalah 1 : 2 (Ginting, 2008). Sehingga untuk kapasitas digester kontrol sebesar 2 m^3 .



Gambar 4.12 Model digester yang akan dibangun

Untuk mengetahui berapa lama memasak dengan biogas yang dihasilkan maka perlu diketahui berapa liter minyak tanah terganti dengan biogas yang dihasilkan. Untuk melakukannya perlu diketahui nilai kalori antara minyak tanah dan biogas. Biogas memiliki nilai kalori sebesar $0,02 \text{ MJ/liter}$ dan minyak tanah memiliki nilai kalori sebesar 37 MJ/liter (Kamase, 2011).

$$\begin{aligned}
 \text{Minyak tanah terganti} &= \frac{V_b \times \text{nilai kalori biogas}}{\text{nilai kalori minyak tanah}} \\
 &= \frac{2160 \text{ liter} \times 0,02 \text{ MJ/liter}}{37 \text{ MJ/liter}} \\
 &= 1,2 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Dari hasil wawancara dengan warga Desa Kuala Lala dengan 5 liter minyak tanah mereka dapat memasak selama satu minggu. Ini berarti dalam satu hari warga menghabiskan minyak tanah rata-rata sebanyak 0,7 liter. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan dengan rata-rata lama memasak sebesar 2,12 jam per hari, maka disain biogas yang dirancang diatas dapat memenuhi kebutuhan memasak warga Desa Kuala Lala.

Beberapa hal yang perlu diketahui setelah pembangunan biogas digester selesai, antara lain sebagai berikut :

a. Cara pengoperasian biogas digester

- Membuat bahan biogas yang terdiri dari campuran kotoran padat sapi dan air dengan perbandingan 1 : 4.
- Memasukkan bahan biogas kedalam digester melalui lubang pengisian (inlet) sampai bahan biogas keluar pada lubang keluaran (outlet) yang berarti pengisian sudah cukup dan meyakinkan udara tidak masuk kedalam digester.
- Menambahkan sedikit urine sapi sebagai starter untuk membantu mempercepat pembentukan bakteri pembusuk.
- Mengaduk bahan biogas setiap hari sambil menunggu gas yang diproduksi terakumulasi pada ruang kosong antara permukaan bahan biogas dengan tutupan dome.
- Setelah 4 hari produksi biogas biasanya cukup banyak sehingga menghasilkan tekanan didalam digester supaya dapat dialirkan melalui pipa dan digunakan untuk memasak.
- Melakukan pengisian dan mengaduk bahan biogas setiap hari.

b. Cara pengoperasian kompor biogas

Pengoperasian kompor biogas sama dengan kompor gas elpiji. Satu hal yang membuat berbeda bahwa kompor biogas tidak

dapat menyala dengan percikan api, tetapi penyalaan harus menggunakan nyala api dengan syarat kran gas dibuka terlebih dahulu.

c. Pemeliharaan dan perawatan digester biogas

- Melindungi digester dari kerusakan fisik misalnya dengan cara memagar, dan melindungi dari masuknya air kedalam digester misalnya memberi atap (Deptan, 2010).
- Apabila belum ada pengaduk otomatis, aduk bahan biogas melalui inlet menggunakan kayu atau bambu supaya terjadi penguraian sempurna dan gas yang terbentuk dibagian bawah naik keatas.

4.3.3. Biaya sistem biogas digester

Biaya sistem biogas digester akan dihitung sampai batas umur investasi yaitu diperkirakan selama 20 tahun. Biaya-biaya yang perlu dikalkulasikan selama umur investasi adalah sebagai berikut :

a. Biaya investasi awal

Biaya-biaya investasi awal yang perlu dikalkulasikan sebagai berikut :

- Biaya bahan baku

Daftar material dan harga didapat dari beberapa sumber yaitu dari wawancara dengan tukang, video panduan pembuatan biogas dari Ir. Nurzainah Ginting, MSc tahun 2008, dan beberapa situs internet seperti (biru, 2011), dan lain-lain.

Tabel 4.14 Daftar harga material biogas digester

Material	Kebutuhan material	Harga satuan	Harga
Batu bata	1200 buah	600	Rp. 720.000
Pasir	5 m ³	25.000	Rp. 125.000
Batu krikil	1/2 m ³	70.000	Rp. 35.000
Semen	30 sak	55.000	Rp.1.650.000
Pipa besi ½ inch	1 batang	125.000	Rp. 125.000
Pipa paralon 4,4 inch	1 batang	110.000	Rp. 110.000
Kran gas /Valve	2 buah	35.000	Rp. 70.000
Pipa T	1 buah	5.000	Rp. 5.000
Selang gas	10 meter	7.000	Rp. 70.000
Kompore gas	1 buah	450.000	Rp. 450.000
Total biaya			Rp. 3.360.000

- Biaya tukang

Dari hasil wawancara dengan tukang, mereka mampu menyelesaikan digester biogas dengan ukuran 4 m³ dan digester kontrol dengan ukuran 2 m³ selama satu minggu. Untuk satu hari tukang meminta dibayar sebesar Rp. 150.000 sudah termasuk dengan upah anak buahnya sebanyak satu orang. Jadi total biaya tukang selama satu minggu sebesar Rp. 1.050.000.

- Total biaya investasi awal

Pada tabel 4.15 dibawah ini memperlihatkan total biaya investasi awal pada pembangunan sistem biogas digester.

Tabel 4.15 Total biaya investasi awal

Jenis	Biaya
Total biaya bahan baku	Rp. 3.360.000
Total biaya tukang	Rp. 1.050.000
Total biaya	Rp. 4.410.000

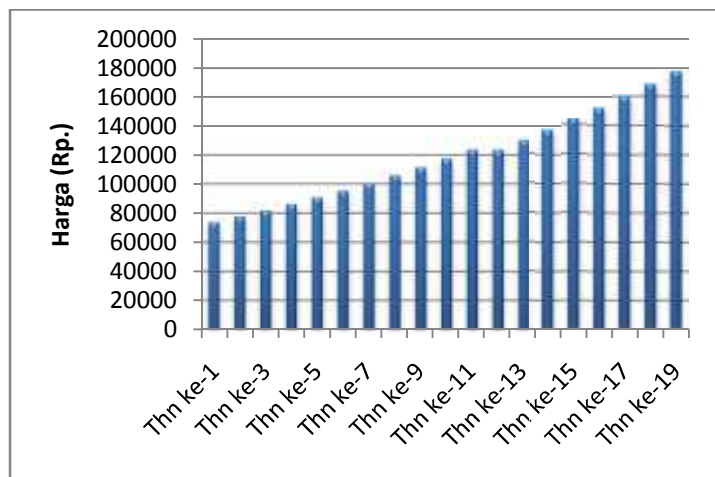
b. Biaya operasional

Biaya operasional dapat diabaikan karena untuk setiap harinya tidak memerlukan biaya agar bisa beroperasi.

c. Biaya perbaikan (*maintenance cost*)

- Selang gas

Harag selang gas 10 meter tahun sekarang = 70.000, inflasi per tahun = 5,3%, pengantian selang gas = 1 tahun sekali

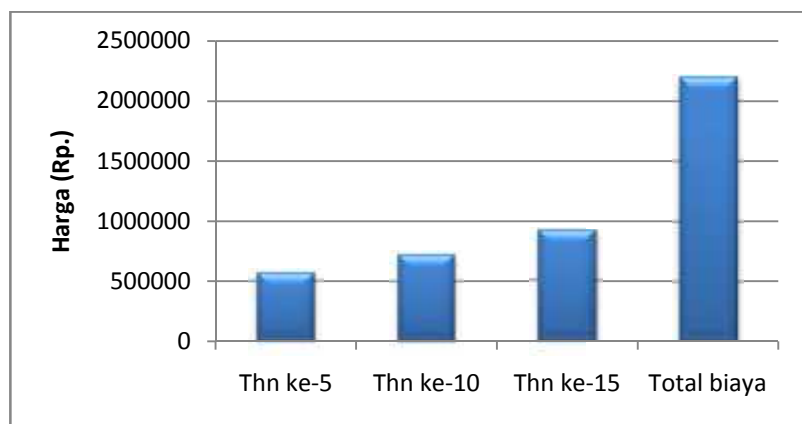


Gambar 4.13 Biaya penggantian selang gas selama umur investasi

Dari Gambar 4.10 bila dikalkulasikan maka total biaya penggantian selang gas selama umur investasi adalah Rp. 2.261.180.

- Kompor gas

Harga kompor gas tahun sekarang = Rp. 450.000. inflasi per tahun = 5,3%, penggantian kompor gas = 5 tahun sekali



Gambar 4.14 Biaya penggantian kompor gas selama umur investasi

Dari Gambar 4.14 total biaya penggantian kompor gas selama umur investasi adalah Rp. 2.200.000.

Setelah dua biaya diatas dikalkulasikan maka didapat total biaya perbaikan seperti ditunjukkan oleh tabel 4.16.

Tabel 4.16 Total biaya perbaikan

Jenis	Biaya
Selang gas	Rp. 2.261.180
Kompor gas	Rp. 2.200.000
Total biaya	Rp. 4.461.180

d. Total biaya selama umur investasi

Dengan diketahuinya biaya investasi awal, biaya operasional, dan biaya perawatan maka didapat total biaya yang dikeluarkan selama umur investasi seperti ditunjukkan oleh tabel 4.17.

Tabel 4.17 Total biaya biogas digester selama umur investasi

Jenis	Biaya
Total biaya investasi awal	Rp. 4.461.180
Total biaya operasional	Rp. 0
Total biaya perbaikan	Rp. 4.279.000
Total biaya	Rp. 8.740.180

4.4 Analisa Ekonomi

4.4.1. Analisa ekonomi sistem PLTS

Analisa ekonomi pada sistem PLTS akan dilakukan dengan membandingkan biaya selama umur investasi antara sistem PLTS dengan PLN.

Beberapa asumsi yang digunakan pada analisa ekonomi adalah sebagai berikut :

- a. Desa Kuala Lala diasumsikan dimasuki jaringan listrik PLN.
- b. Tarif dasar listrik selama 20 tahun kedepan dianggap sama dengan TDL 2010.
- c. Subsidi listrik sebagai mana yang diberikan pemerintah pada rumah tangga saat ini diasumsikan tetap ada dengan besar yang sama dalam 20 tahun kedepan.
- d. Biaya eksternal dari penggunaan listrik yang dibangkitkan dari sumber energi fosil dianggap tidak akan dimasukkan kedalam TDL dalam 20 tahun kedepan.
- e. Biaya investasi dan operasional dari penggunaan listrik dan gas dari sumber energi terbarukan dianggap tidak akan diberi subsidi dalam 20 tahun kedepan.

Sebelum membandingkan biaya antara PLTS dengan PLN, maka terlebih dahulu mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Total biaya selama umur investasi (20 tahun) pada sistem PLTS adalah Rp. 113.598.500.
- b. Dengan asumsi jaringan PLN dibangun didesa itu, total biaya penggunaan Listrik PLN selama umur investasi (20 tahun) adalah sebagai berikut :
 - Biaya instalasi listrik
Biaya instalasi listrik sudah diketahui sebelumnya adalah Rp. 1.320.000

- Biaya pemasangan kWh meter
Diasumsi kapasitas daya yang akan dipasang sebesar 900 VA dengan biaya Rp. 4.500.000,-.
- Biaya beban per bulan
Biaya beban per bulan akan dihitung berdasarkan tarif dasar listrik (TDL) 2010 dimana untuk daya 900 VA biaya yang diberlakukan oleh pemerintah sebagai berikut; biaya beban per bulan Rp. 20.000, biaya pemakaian per kWh Rp. 605, biaya materai Rp. 3.000 apabila biaya tagihan diantara Rp. 200.000 – Rp. 1000.000 (Ingateros, 2010), dan tarif penerangan jalan (PPJ) adalah 6% dari biaya rekening listrik (antarariau, 2010). Energi yang dikonsumsi akan diambil dari tabel 4.2 yaitu 2463 Wh per hari, apabila dikalkulasikan selama satu bulan maka total energi yang dikonsumsi per bulan sebesar 73,89 kWh. Sehingga dari data tersebut diperoleh biaya beban per bulan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Rekening} &= (73,89 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 605) + \text{Rp. } 20.000 \\ &= \text{Rp. } 67.728\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}\text{Tagihan listrik} &= \text{Rp. } 67.728 + (\text{Rp. } 67.728 \times 6\%) \\ &= \text{Rp. } 71.792\end{aligned}$$

Apabila tagihan listrik dikalkulasikan selama 20 tahun maka total pembayaran beban adalah Rp. 17.230.000,-.

- Total biaya

Total biaya akan dikalkulasikan selama umur investasi pada sistem PLTS yaitu selama 20 tahun. Pada tabel 4.18 dapat dilihat total biaya yang dikeluarkan untuk PLN selama umur investasi.

Tabel 4.18 Total biaya listrik PLN selama 20 tahun

Jenis	Biaya
Biaya instalasi listrik	Rp. 1.320.000
Biaya pemasangan ampere meter	Rp. 4.500.000
Biaya Beban listrik selama 20 tahun	Rp. 17.230.000
Total biaya	Rp. 23.050.000

Dari data diatas maka biaya yang dikeluarkan untuk PLTS sebesar Rp. 113.598.500,- jauh lebih besar dari pada biaya yang dikeluarkan untuk listrik negara (PLN) yaitu Rp. 23.050.000,-. Dengan perbedaan yang signifikan maka sistem PLTS akan sulit untuk diterapkan pada daerah penelitian yaitu Desa Kuala Lala. Kec. Sungai Lala-INHU. Dibawah ini adalah beberapa alasan mengapa biaya PLTS lebih mahal dari pada biaya PLN.

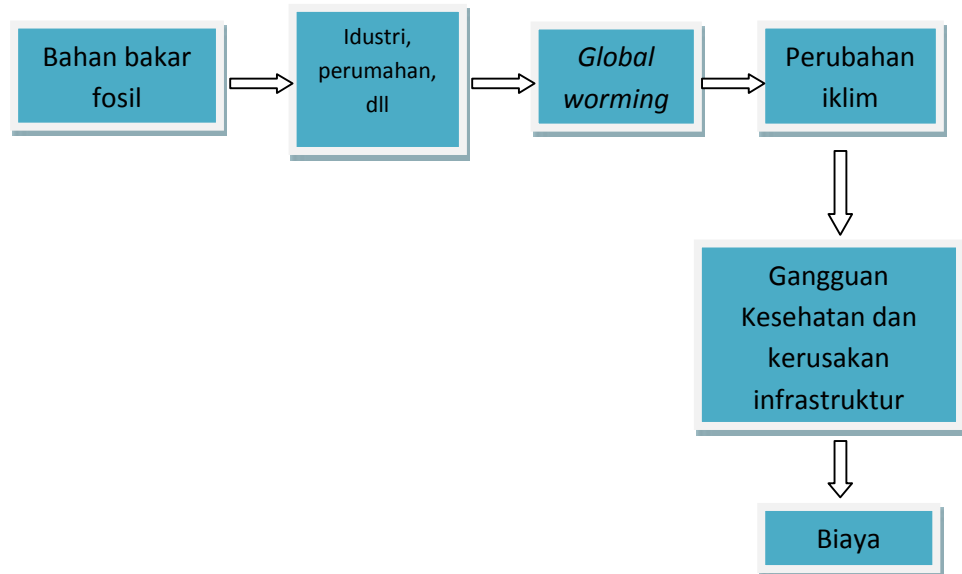
a. Biaya PLN bersubsidi

Seperti yang sudah diketahui bersama bahwa listrik yang dipakai saat ini adalah listrik bersubsidi. Dampak negatif dari listrik bersubsidi ini adalah terjadinya pola hidup boros dalam penggunaan energi listrik. Hal ini dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan bahwa rata-rata warga pada Desa Batu Gajah-INHU tidak menerapkan pola hemat energi karena menganggap tarif listrik masih murah.

Satu hal yang mengejutkan bahwa baru-baru ini pada tahun 2010 pemerintah merencanakan kenaikan tarif dasar listrik (TDL) sebesar 5,4% di tahun 2011, hal ini disebabkan karena subsidi yang diberikan pemerintah kepada rakyat semakin membengkak (antaranews, 2011). Hingga akhirnya kenaikan tidak jadi dilakukan karena banyak mendapat tekanan dari berbagai pihak. Dengan membengkaknya anggaran pemerintah untuk subsidi listrik, mau tidak mau pemerintah nantinya akan menaikkan tarif dasar listrik atau mencabut subsidi yang diberikan. Apabila terjadi pencabutan subsidi, maka berapa besar tarif listrik yang akan dibayar masyarakat kepada PLN? Dengan keadaan seperti ini pemerintah harus berfikir keras dan mulai melirik untuk menggunakan energi terbarukan seperti PLTS. Dan nantinya pemerintah harus berusaha supaya biaya yang dikeluarkan untuk sistem PLTS dapat bersaing dengan biaya yang dikeluarkan untuk PLN.

b. Biaya eksternal tidak dimasukkan

Biaya eksternal yang dimaksudkan adalah biaya yang dikeluarkan akibat dampak negatif dari penggunaan bahan bakar fosil seperti kesehatan dan perubahan iklim. Dalam kenyataan biaya eksternal ini tidak dikalkulasikan dalam perhitungan biaya yang dikeluarkan. Aplikasi lapangan bahan bakar fosil banyak digunakan pada sektor-sektor industri yang salah satu nya adalah perusahaan listrik negara (PLN). Munculnya biaya eksternal dapat dilihat dari gambar 4.12.



Gambar 4.15 Diagram alur biaya eksternal

Gambar 4.15 bahan bakar fosil digunakan sebagai penggerak utama kegiatan industri. Dari industri menghasilkan gas buang dari pembakaran bahan bakar fosil berupa gas karbon yang tidak terkontrol. sehingga dari gas-gas buang dari industri yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pemanasan global yang bisa membuat perubahan iklim yang sangat ekstrim seperti banjir, badai, dan kebakaran. Akibat dari perubahan iklim yang ekstrim akan berdampak pada kehidupan manusia mulai dari kesehatan seperti terganggunya pernapasan, alergi, jantung, dll (andaka, 2011). Selain berdampak pada kesehatan manusia, perubahan iklim yang ekstrim bisa mengakibatkan kerusakan infrastruktur akibat dari badai dan banjir yang terjadi (andaka, 2011). Kalau hal itu terjadi tentunya diperlukan biaya untuk menanggulangi hal tersebut.

Apabila biaya ekesternal ini dikalkulasikan maka berapa besar biaya yang dikeluarkan dari dampak penggunaan bahan bakar fosil khususnya di industri-industri yang harus kita tanggung.

c. PLTS tidak disubsidi

Seperti sudah diberi tahu sebelumnya, apabila pemerintah mau melirik PLTS sebagai energi utama dalam sektor perumahan maka pemerintah harus berfikir keras bagai mana biaya yang dikeluarkan untuk PLTS dapat bersaing dengan biaya yang dikeluarkan untuk PLN.

Mahalnya PLTS dari pada PLN ini diakibatkan salah satunya adalah bahwa pemerintah tidak mensubsidi PLTS sedangkan biaya listrik dari PLN disubsidi. Hal inilah yang membuat sulitnya menerapkan teknologi PLTS di Indonesia.

4.4.2. Analisa ekonomi sistem biogas digester

Analisa ekonomi biogas digester akan dilakukan dengan membandingkan total biaya selama umur investasi antara biogas digester, gas elpiji PERTAMINA, dan minyak tanah.

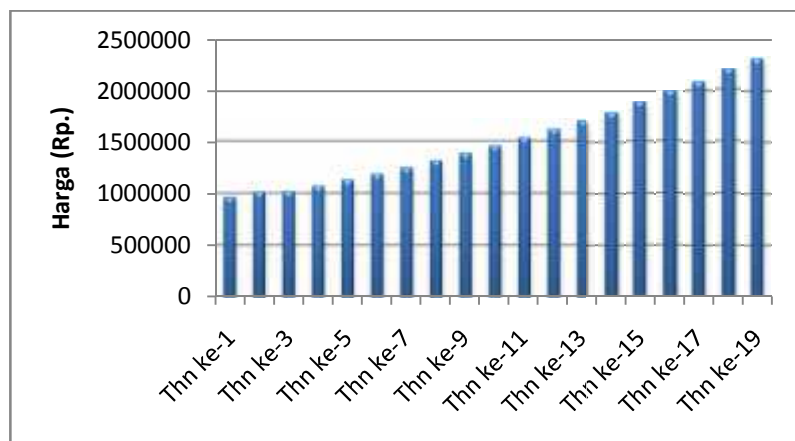
- a. Total biaya biogas digester selama umur investasi (20 tahun) adalah Rp. 8.740.180
- b. Total biaya penggunaan gas elpiji pertamina selama umur investasi (20 tahun). Sebelum mengkalkulasikan total biaya penggunaan gas elpiji selama umur investasi, perlu diketahui biaya-biaya seperti yang tertera dibawah ini :

- Biaya kompor gas

Seperti diketahui sebelumnya total biaya kompor gas selama umur investasi adalah Rp. 2.200.000.

- Biaya isi ulang gas elpiji selama umur investasi

Dari hasil wawancara dengan penduduk Desa Batu Gajah yaitu desa terdekat dari Desa Kuala Lala dalam satu minggu mereka dapat menghabiskan satu tabung elpiji yang berukuran 3 Kg selama satu minggu. Sedangkan untuk isi ulang pertabung dikenakan biaya sebesar Rp. 20.000. Pada gambar 4.13 dapat dilihat biaya gas elpiji 3 Kg selama 20 tahun dengan inflasi per tahun sebesar 5,3%.

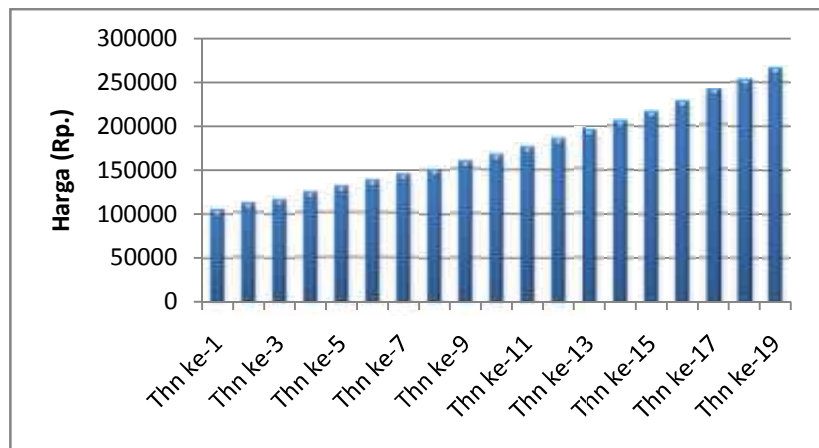


Gambar 4.16 Biaya per tahun gas elpiji 3 Kg selama umur investasi

Gambar 4.16 memperlihatkan biaya gas elpiji per tahun, apabila dikalkulasikan selama umur investasi maka total biaya isi ulang gas elpiji selama 20 tahun adalah Rp. 28.863.651,-.

- Biaya selang dan regulator gas

Harga selang dan regulat elpiji tahun sekarang = Rp. 100.000, inflasi per tahun = 5,3%, dan pengantian selang dan regulator = 1 tahun sekali.



Gambar 4.17 Biaya per tahun selang dan regulator elpiji selama umur investasi

Apabila biaya-biaya per tahun selang dan regulator elpiji pada gambar 4.17 dikalkulasikan maka total biaya selama umur investasi adalah Rp. 3.313.339,-.

Setelah biaya-biaya diatas diketahui maka biaya total penggunaan gas elpiji selama umur investasi adalah sebagai berikut :

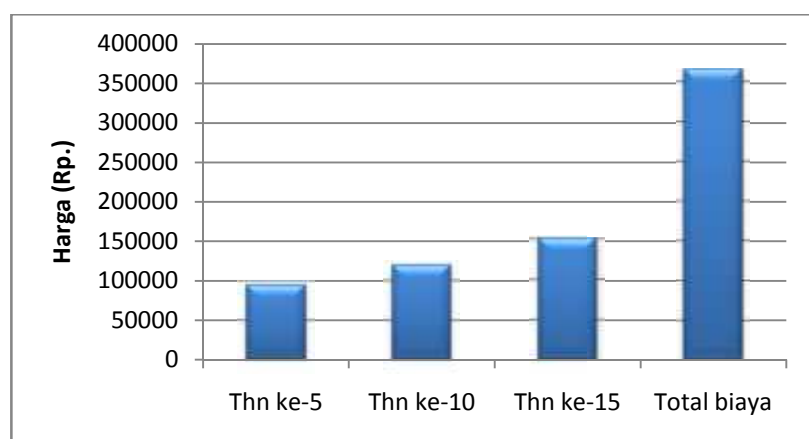
Tabel 4.19 Total biaya penggunaan gas elpiji selama umur investasi

Jenis	Biaya
Total biaya kompor gas	Rp. 2.200.000
Total biaya isi ulang gas elpiji	Rp. 28.863.651
Total biaya selang dan regulator elpiji	Rp. 3.313.339
Total biaya	Rp. 34.376.990

- c. Total biaya menggunakan minyak tanah untuk memasak selama umur investasi (20 tahun). Sebelum mengkalkulasikan total biaya penggunaan minyak tanah, terlebih dahulu harus diketahui biaya-biaya seperti dibawah ini :

- Biaya kompor minyak tanah

Harga kompor minyak tanah pada tahun sekarang =Rp. 75.000 (<http://erabaru.net/kehidupan/54-keluarga/16027-harapan-baru-pengrajin-kompor-minyak-tanah>), inflasi per tahun = 5,3%, dan penggantian kompor = 5 tahun sekali.

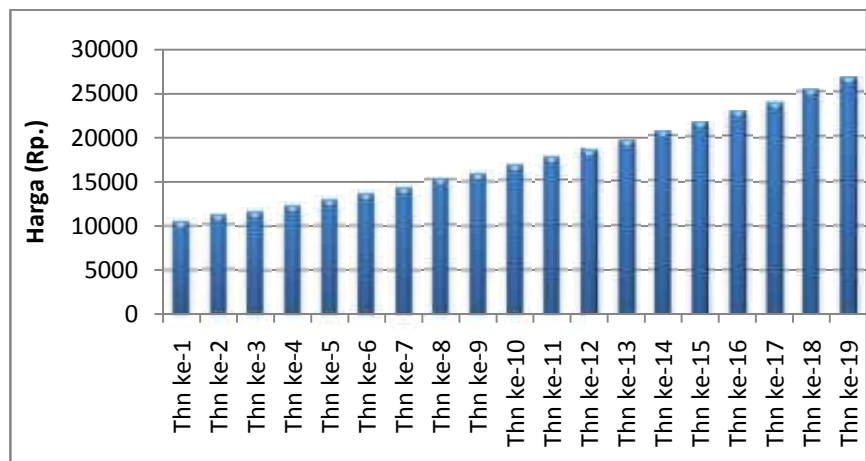


Gambar 4.18 Biaya kompor minyak tanah selama umur investasi

Pada gambar 4.18 total biaya kompor minyak tanah selama umur investasi adalah Rp. 366.713

- Biaya sumbu kompor

Harga sumbu kompor sekarang = Rp. 10.000 (hasil wawancara), inflasi per tahun = 5,3%, dan penggantian sumbu kompor = 1 tahun sekali.

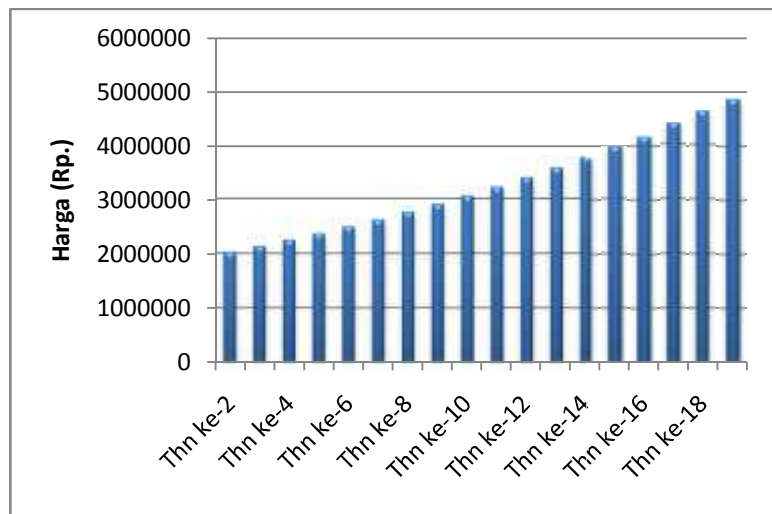


Gambar 4.19 Biaya sumbu kompor per tahun selama umur investasi

Apabila gambar 4.19 dikalkulasikan maka total biaya yang dikeluarkan selama umur investasi adalah Rp. 331.400

- Biaya minyak tanah

Dari hasil wawancara dengan beberapa warga Desa Kuala Lala, dalam satu minggu rata-rata mereka menghabiskan 5 liter minyak tanah dengan per liternya Rp. 8000. Apabila dikalkulasikan selama umur investasi dengan inflasi pertahun sebesar 5,3% maka didapat hasil seperti gambar 4.17 dibawah ini :



Gambar 4.20 Biaya minyak tanah per tahun selama umur investasi

Dari gambar 4.20 apabila biaya diatas dikalkulasikan maka total biaya minyak tanah selama umur investasi adalah Rp. 60.415.676,-.

Setelah biaya-biaya diatas sudah diketahui maka total biaya yang dikeluarkan untuk pemakaian minyak tanah selama umur investasi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.20 Total biaya minyak tanah untuk memasak selama umur investasi

Jenis	Biaya
Total biaya kompor minyak tanah	Rp. 366.713
Total biaya minyak tanah	Rp. 60.415.676
Total biaya sumbu kompor	Rp. 331.400
Total biaya	Rp. 61.113.789

Dengan melihat besar biaya antara biogas digester, gas elpiji, dan minyak tanah maka dapat disimpulkan bahwa biaya sistem biogas digester jauh lebih murah dari pada biaya yang dikeluarkan untuk memasak menggunakan bahan bakar gas elpiji dan minyak tanah.

Dengan melihat potensi yang dimiliki oleh sistem biogas digester maka tinggal kesadaran pemerintah untuk menggalakkan penggunaan biogas digester khususnya pada wilayah pedesaan. Apabila sistem biogas digester ini benar-benar diterapkan pada seluruh desa yang ada di Indonesia, khususnya desa yang mempunyai ternak maka dapat dibayangkan berapa besar penghematan yang dapat dilakukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Konsep rumah mandiri energi merupakan sebuah konsep dimana kebutuhan energi pada sebuah rumah yang meliputi energi listrik, gas dan BBM diperoleh secara mandiri dengan memanfaatkan sumber energi dari alam seperti matahari, air, angin, limbah organik, dan lain-lain. Konsep rumah mandiri energi yang dirancang pada tugas akhir ini adalah rumah yang memanfaatkan energi surya untuk suplai listrik dan biogas untuk suplai gas. Sedangkan kebutuhan BBM tidak di bahas.

Objek penelitian adalah rumah tangga ukuran sedang di Desa Kuala Lala Kec. Sungai Lala-Indragiri Hulu. Adapun sistem suplai listrik (PLTS) dan sistem suplai gas (biogas digester) yang dihasilkan melalui penelitian ini adalah sebagai berikut :

5.1.1 Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)

- a. Dengan beban 2463 Wh per hari dan beban puncak 362 Watt sistem PLTS yang direkomendasikan adalah modul surya 210 Wp, BCR 40 A, baterai 102 Ah, dan inverter 900 VA.
- b. Total biaya yang dibutuhkan selama umur investasi (20 tahun) adalah Rp. 113.599.000.
- c. Total biaya beban listrik rata-rata yang dikeluarkan Desa Kuala Lala dengan asumsi sudah tersambung ke jaringan listrik PLN adalah Rp. 23.050.000,-. Sehingga biaya yang dikeluarkan PLTS lebih besar dari pada biaya yang dikeluarkan untuk PLN.
- d. Faktor-faktor yang membuat PLTS tidak bisa bersaing dengan PLN adalah karena PLN disubsidi oleh pemerintah, tidak

dihitungnya biaya eksternal, dan PLTS tidak disubsidi oleh pemerintah.

5.1.2 Biogas digester

- a. Perancangan biogas digester pada Desa Kuala Lala menghasilkan besar kapasitas digester biogas sebesar 4 m³ dan digester kontrol 2 m³.
- b. Dari kapasitas digester yang dihasilkan dapat menghasilkan gas methan sebanyak 2,16 m³ dan bila dikonversikan maka gas methan yang dihasilkan dapat mengganti minyak tanah sebesar 1,2 liter.
- c. Total biaya sistem biogas digester selama umur investasi (20 tahun) adalah Rp. 8.740.180,-.
- d. Total biaya gas elpiji untuk memasak selama umur investasi adalah Rp. 34.376.990,-.
- e. Total biaya minyak tanah untuk memasak selama umur investasi adalah Rp. 61.113.789,-.
- f. Biaya yang dikeluarkan sistem biogas digester jauh lebih murah dari pada menggunakan gas elpiji PERTAMINA dan minyak tanah.

5.2 Saran

5.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

- a. Dalam merancang sistem PLTS, peneliti selanjutnya diharapkan memasukkan persamaan-persamaan yang ada pada AS 4509.2-2002 didalam excel sehingga nantinya memudahkan dalam perancangan.
- b. Untuk peneliti selanjutnya, diharapkan dapat merancang teknologi hybrid dalam memenuhi energi listrik pada skala

rumah tangga. Dengan menerapkan teknologi ini diharapkan nantinya lebih ekonomis dari teknologi PLTS.

- c. Peneliti selanjutnya sebaiknya memasukkan rekomendasi tentang strategi untuk mengurangi biaya PLTS sehingga dapat menjadi pilihan menarik di desa-desa tanpa tergantung pada intervensi pemerintah.

5.2.2 Biogas digester

- a. Dalam merancang biogas digester, peneliti selanjutnya diharapkan memasukkan persamaan-persamaan didalam excel sehingga nantinya memudahkan dalam perancangan.
- b. Untuk peneliti selanjutnya, diharapkan dapat merancang sistem pengaduk otomatis pada digester biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpensteel. *Tahun 2025 Pemerintah Targetkan Pemanfaatan Sel Surya 800 MW*.
<http://www.alpensteel.com/article/46-102-energi-matahari--surya--solar/3954--tahun-2025-pemerintah-targetkan-pemanfaatan-sel-surya-800-mw.html>. 2010. (Diakses. 28 juli 2010)
- Andaka. *Pengaruh pemanasan global terhadap kesehatan*.
<http://www.andaka.com/pengaruh-pemanasan-global-terhadap-kesehatan.php>. 2010. (Diakses : 17 Juli 2010)
- Antarnews. *DPR tolak rencana kenaikan TDL 2011*.
<http://www.antarnews.com/berita/1288075086/dpr-tolak-rencana-kenaikan-tdl-2011>. 2011. (Diakses : 21 Maret 2011)
- AS 4509.2-2002. *Australian StandardTM Stand-alone power system part 2: System guidelines*. Murdoch university, Australia. 2008.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2008*.
http://www.esdm.go.id/publikasi/handbook/doc_download/987-handbook-of-energy-a-economic-statistics-of-indonesia-2009.html. 2008 (diakses: 10 juli 2010)
- Departemen Kesehata. *Parameter Pencemaran Udara dan Dampaknya Terhadap Kesehatan*. www.depkes.go.id/downloads/Udara.PDF. n.d. (Diakses : 17 juli 2010)
- Deptan. *Biogas*. <http://agribisnis.deptan.go.id/xplore/files/PENGOLAHAN-HASIL/BioEnergi-Lingkungan/BioEnergiPerdesaan/BIOFUEL/Biogas/Biogas.pdf>. 2011. (Diakses : 20 maret 2011)
- Earthscan. *Planning and Installing Photovoltaic Systems*. Jerman. 2008.

Forumbebas. *Suhu riau rata-rata naik dua derajat celcius per tahun.*

<http://www.forumbebas.com/thread-112710.html>. 2008. (Diakses : 27 juli 2010)

Forumkimia. *nuklir antara manfaat dan dampak.*

<http://forumkimia.multiply.com/reviews/item/3>. n.d. (Diakses 19 juli 2010)

Giatman. *Ekonomi Teknik*. Rajawali Pers. Jakarta. 2005

Ginting, Nurzainah. *T OT (training for traineers) Biogas Departemen peternakan Fakultas pertanian Universitas sumatera utara*. Universitas Sumatra Utara, Medan. 2008.

Greenpeace Asia Tenggara. *PLTN Bukan Solusi Energi Indonesia.*

<http://www.greenpeace.org/seasia/id/news/pltn-bukan-solusi>. 2010. (diakses 11 juli 2010)

Ingateros. *Tarif dasar listrik 2010*. [http://www.ingateros.com/wp-](http://www.ingateros.com/wp-content/uploads/2010/07/tarif-dasar-listrik-2010.pdf)

[content/uploads/2010/07/tarif-dasar-listrik-2010.pdf](http://www.ingateros.com/wp-content/uploads/2010/07/tarif-dasar-listrik-2010.pdf). 2010. (Diakses : 21 maret 2011)

International Energy Agency (IEA). *2007 Energy Balance for Indonesia.*

http://iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=ID. 2010. (diakses: 11 juli 2010)

Kamase. *Cara Mudah membuat digester biogas*. [http://www.kamase.org/cara-](http://www.kamase.org/cara-mudah-membuat-digester-biogas/)

[mudah-membuat-digester-biogas/](http://www.kamase.org/cara-mudah-membuat-digester-biogas/). 2011. (Diakses : 20 Maret 2011)

Okezone. *Target inflasi bisa tercapai asal inflasi inti bisa ditekan.*

<http://economy.okezone.com/read/2011/02/18/20/426057/target-inflasi-bisa-tercapai-asal-inflasi-inti-bisa-ditekan-3>. 2011 (Diakses : 10 Maret 2011)

Panelsurya. *ITB Bangun PLTS.*

<http://www.panelsurya.com/index.php/id/home/tenaga-surya/180>. n.d. (Diakses: 28 juli 2010)

PCIRD. *Biogas_Digester*.

http://pcierd.dost.gov.ph/index.php/downloads/doc_download/85-design-of-biogas-digester. 2009. (Diakses 21 juli 2010)

Pengajian Energi Universitas Indonesia (PEUI). *Indonesia energy Outlook & Statistics 2006*. Universitas Indonesia, Depok. 2006.

Pratama, akhmad. *Energi Surya dan Prospek Pengembangannya di Indonesia*. <http://www.4echo-off.co.cc/2010/05/energi-surya-dan-prospek.html>. 2010. (Diakses: 28 juli 2010)

Raka, S. *Gagasan Konseptual Bank Biogas Sebagai Penyokong dan Pemerataan Program Biru di Indonesia*. http://www.mediaindonesia.com/webtorial/klh/?ar_id=NzQ5Ng==. 2010 (Diakses 28 juli 2010)

Rakhmawan, agung. *Pemanasan global, Efek rumah kaca, hujan asam dan menipisnya lapisan ozon*. <http://agungr.vox.com/library/post/energi-angin-adalah-energi-alternatif.html>. n.d. (Diakses: 18 juli 2010)

Rayvel. *Umur rata-rata modul surya*. <http://blog.rayvel.co.cc/my-task/?p=27>. 2010. (Diakses : 20 agustus 2010)

Saleh, R.. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Suplai 69 Persen Kebutuhan Listrik AS*. <http://www.alpensteel.com/article/46-102-energi-matahari--surya-solar/3905--pembangkit-listrik-tenaga-surya-plts-suplai-69-persen-kebutuhan-listrik-as.html>. n.d. (Diakses: 28 juli 2010)

Sttal. *Biogas*. sttal.ac.id/index.php/lppm/64-biogas. n.d. (Diakses: 26 juni 2010)

Teguh Muhammad. *Metodelogi penelitian ekonomi*. PT RajaGrafindo Persada. Jakarta. 2005.

Twidell and Weir. *Renewable Energy Resources*. USA dan Canada. 2006.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Devi Nuryadi yang akrab dipanggil Devi. Lahir di Dumai, 10 Juli 1988, Riau. Penulis merupakan anak dari pasangan suami istri Masyahrur dan Nurlela. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara yang beralamat di Desa Batu Gajah, Kec. Pasir Penyau, Kab. Indragiri Hulu. Penulis dapat dihubungi pada email devinuryadi@gmail.com.

Pengalaman pendidikan dimulai pada SDN 005 di Batu Gajah tahun 1994 lulus pada tahun 2000, kemudian melanjutkan ke SLTPN 002 Batu Gajah pada tahun 2000 lulus pada tahun 2003, kemudian melanjutkan ke SMK MULTI PROGRAM DOA BUNDA di batu Gajah pada tahun 2003-2006, dan selesai itu melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi UIN SUSKA RIAU (Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau), Fakultas Sains dan Teknologi, Jurusan Teknik Elektro. Di sinilah saya belajar lebih mandiri dengan berbagai pelajaran serta pengalaman mulai menjadi anggota HIMA – TE (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro), dan menjadi asisten Lab Elektronika (Elektronika Daya, Teknik Tenaga Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Lanjut).

Demikianlah perjalanan hidup saya, semoga bagi yang membacanya dapat termotivasi dan serta minat dalam melakukan kegiatan belajar maupun langkah pembinaan diri agar berguna Nusa, Bangsa dan Agama..Amin.